

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra mechanické technologie

Diplomová práce

2018

Bc. Jakub Jedelský

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra mechanické technologie

Porovnání metod svařování automobilových svítilen

Comparison of Car Lamp Welding Methods

Student:

Bc. Jakub Jedelský

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Vladislav Ochodek

Ostrava 2018

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jakub Jedelský**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie
Téma: **Porovnání metod svařování automobilových světlů**
Comparison of Car Lamp Welding Methods
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Proved'te studii vlastností a použití termoplastů v automobilovém průmyslu.
2. Vypracujte literární rešerši svařování plastů v automobilovém průmyslu.
3. Proved'te porovnání svařování světlů vibrační metodou s IR a svařování pouze s předehřevem bez vibrací.
4. Proved'te diskusi dosažených výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:

ASM. Handbook vol. 6, *Welding, Brazing, Soldering*. ASM 2001.
LEGRAND, D., BENDLER, J. T. *Handbook of Polycarbonate Science and Technology (Plastics Engineering)*. Marcel Dekker Inc. 2000.
CHANDA, M., ROY, S. *Plastics technology handbook*. CRC press, 2006.
KATAYAMA, Seiji (ed.). *Handbook of laser welding technologies*. Elsevier, 2013.
STOKES, V., K. Joining methods for plastics and plastic composites: an overview. *Polymer Engineering & Science*, 1989, 29.19: 1310-1324.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Vladislav Ochodek**

Konzultant diplomové práce: Ing. Martin Kepprt

Datum zadání: 08.12.2017

Datum odevzdání: 21.05.2018

Ing. Lucie Krejčí, Ph.D.
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

Podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі́, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou (bakalářskou) práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі́, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne :.....

.....

podpis

Jméno a příjmení autora práce: Jakub Jedelský

Adresa trvalého pobytu autora práce: Janoslavice 37, Rohle 789 74

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

JEDELSKÝ, J. *Porovnání metod svařování automobilových světilen: diplomová práce*. Ostrava: VŠB- Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2018, 80 s. Vedoucí práce: Ing. Vladislav Ochodek.

Diplomová práce se zabývá porovnáním svařování světilen, a to technologii infračerveného záření bezdotykovým přenosem a technologií infračerveného předeřevu při vibračním svařování termoplastů. Práce se bude zabývat svařování světilen z termoplastického materiálů určených pro automobilový průmysl. Hlavní pozornost je věnována porovnání těchto metod účinku vibračního svařování a podrobení příslušným zkouškám.

Klíčová slova: vibrační svařování, infračervené svařování, termoplasty

ANNOTATION OF DIPLOMA THESIS

JEDELSKÝ, L. *Comparison of Car Lamp Welding Methods*. Ostrava: VŠB- Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Mechanical Technology, 2018, 80 s. Thesis head: Ing. Vladislav Ochodek

This diploma thesis is dealing with comparison of welding of flashlights, namely technology of infrared radiation contactless transmission and technology of infrared preheating with vibrating welding of thermoplastics. This thesis will focus mainly on welding of flashlights made of thermoplastic material for an automobile industry. Main attention is dedicated to comparison of these methods and the effect of vibrating welding and observation of appropriate testing.

Key words: vibration welding, infrared welding, thermoplastics

Obsah

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ.....	9
ÚVOD.....	11
I. TEORETICKÁ ČÁST	12
1. STRUKTURA A ZÁKLADNÍ POPIS POLYMERŮ.....	12
1.1. Podstata význam a historie polymerů	12
1.2. Rozdělení a charakteristika polymerů	15
2. TERMOPLASTY	17
2.1. Definice termoplastů	17
2.2. Hlavní druhy používaných plastů pro automobilový průmysl	20
2.3. Termoplast Polymethylmethakrylát (PMMA)	23
2.4. Termoplast (PC/ABS)	25
3. POUŽITÍ PLASTŮ V AUTOMOBILOVÉM PRŮMYSLU	27
3.1. Plasty - základní vlastnosti použití pro automobily	27
3.2. Interiérové použití	30
3.3. Svítidla a světlomety	30
3.4. Exteriér automobilů.....	31
4. VADY SVAŘOVANÝCH SOUČÁSTÍ S IR OHŘEVEM.....	32
5. INFRAČERVENÉ SVAŘOVÁNÍ BEZDOTYKOVÝM PŘENOSEM ZÁŘENÍ	34
5.1. Infračervené záření.....	34
5.2. Infračervené svařování	35
5.2.1. Popis metody	35
5.2.2. Základní popis stroje	37
5.2.3. Procesní parametry.....	39
5.2.4. Základní princip fází svařování.....	40
5.2.5. Tvar a linie svaru.....	43
5.2.6. Výhody a nevýhody Infračerveného svařování	44
6. VIBRAČNÍ SVAŘOVÁNÍ S IR PŘEDEHŘEVEM TERMOPLASTŮ	45
6.1. Popis metody	45
6.2. Základní popis stroje	46
6.3. Procesní parametry	47
6.4. Základní princip fází svařování	49
6.5. Tvar a linie svaru	50
6.6. Výhody a nevýhody vibračního svařování s IR přehřevem.....	53

II. PRAKTICKÁ ČÁST	54
7. POPIS SVÍTILNY A SVAŘOVACÍHO STROJE	54
7.1. Popis testovaného vzorku	54
7.2. Popis vibračního svařovacího zařízení s předeřevem Branson GVX-3HR	54
7.2.1. Horní nástroj a vibrační hlava	55
7.2.2. Dolní nástroj	56
7.2.3. Infračervené zrcadlo	57
7.2.4. Parametry nastavení infračerveného zrcadla	57
7.2.5. Technické údaje stroje	58
8. PŘÍPRAVA A KONTROLA SVAŘOVANÝCH SVÍTILEN	60
8.1. Kontrola předeřevu linie svaru	60
8.2. Testování vzorků	60
8.3. Vizuální zkouška	61
8.4. Zkouška tlakem	61
8.5. Nastavení parametrů pro svařování	63
9. VÝPOČET HRANIČNÍHO TLAKU A SÍLY PŮSOBÍCÍ NA SVAR	65
9.1. Výpočet hraničního tlaku	65
9.1.1. Vysvětlení zkratk pro výpočet	65
9.1.2. Výpočet	66
9.2. Výpočet síly působící na svár	67
9.2.1. Vysvětlení zkratk pro výpočet	67
9.2.2. Výpočet pro první vzorek bez IR předeřevu	67
III. VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT A ZHODNOCENÍ METOD	68
10. VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT	68
11. DISKUZE O DOSAŽENÝCH VÝSLEDČÍCH	69
12. ZÁVĚR	71
PŘÍLOHY	72
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	74
SEZNAM OBRÁZKŮ	78
SEZNAM TABULEK	80
SEZNAM PŘÍLOH	80

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLU

Značka/Symbol	Význam	Jednotka
A	Amplituda	[cm]
ABS	Akrylonitril Butadien Styren	[-]
bar	Bar	[bar]
°C	Stupeň Celsia	[°C]
CNC	Číslicově řízený stroj	[-]
CVT	Čistá vibrační technologie	[-]
cm ²	Centimetr čtverečný	[cm ²]
daN	Dekanewton	[daN]
DVS	Norma (Německá asociace svařování)	[-]
dB	Decibel	[dB]
F _{sv}	Síla působící na svar	[N]
HDPE	Polyethylen s vysokou hustotou	[-]
Hz	Hertz	[Hz]
IR	Infračervené(infrared)	[-]
kg	Kilogram	[kg]
kW	Kilowatt	[kW]
LCD	Displej z tekutých krystalů	[-]
LDPE	Polyethylen s nízkou hustotou	[-]
l _{sv}	Délka svařovacího žebra	[cm ²]
MPa	Megapascal	[MPa]
mbar	Milibar	[mbar]
mm	Milimetr	[mm]
mm/s	Milimetr za sekundu	[mm/s]
N	Newton	[N]

PA 46	Nylon 46	[-]
PA 6	Nylon 6	[-]
PA 66	Nylon 66	[-]
PBT	Polybutylen –tereftalát	[-]
PC	Polykarbonát	[-]
PC+ABS	Polykarbonát/ABS	[-]
PET	Polyethylen – tereftalát	[-]
PLC	Programovatelný logický automat	[-]
P_{lim}	Limitní tlak pro zkoušku	[mbar]
PMMA	Akryl	[-]
P_n	Tlak naměřený zkouškou	[mbar]
PVC	Polyvinyl chlorid	[-]
Re	Mez pevnosti	[MPa]
$\sigma_{n_{min}}$	Minimální smykové napětí	[MPa]
g/cm^3	gram na metr krychlový	[g/cm^3]
KJ/m^2	Kilojoul na metr čtverečný	[KJ/m^2]
S_{sv}	Plocha svaru	[-]
s	Sekunda	[s]
TPE-E	Polyether-ester blokový kopolymer	[-]
V	Volt	[V]
W/K m	Watt na metr Kelvin	[$W/K m$]
POM	Acetal	[-]
PP	Polypropylen	[-]
PPS	Polyphenylen sulfid	[-]
PS	Polystyren	[-]
K	Kelvin	[K]
SAN	Styren Akrylonitril	[-]

Úvod

V posledních letech se zvýšil zájem o plastové díly v mnoha elektronických, automobilových, chemických odvětvích a také v lékařství. Snahou je vyvíjet stále nové termoplastické materiály, které mají lepší požadované mechanické a funkční vlastnosti a vhodnou materiálovou kompatibilitu se snížením nákladů na výrobu [4].

Moderní automobily zaznamenávají rozsáhlé užití alternativních lehkých materiálů. Z používaných materiálů, především plasty, poskytují lehké snadno zpracovatelné a korozivzdorné díly pro automobilový průmysl. Tento dramatický posun v průběhu několika let lze připsat ke zvyšujícímu se počtu vozidel, snížení spotřeby paliva a dodržení legislativních požadavků na snížení CO₂. Použití plastů v automobilovém průmyslu je již od roku 1941, kdy Henry Ford vyrobil automobil využívající komponenty na bázi celulózy [16].

V aplikaci automobilového osvětlení je snaha spojit dva termoplastické materiály polymethylmethakrylát (PMMA) a směs dvou polymerů z polykarbonátu a akrylonitril-butadién-styrénu (PC/ABS) za účelem snížení nákladů a zvýšení pevnosti spojení [8].

Svařování termoplastických dílů nám nabízí efektivní spojení. Svařováním termoplastických hmot vytváříme nerozebíratelné spojení za použití teploty a tlaku v určeném čase. Dodání tepla na svárový spoj může být pomocí tření, vedením, konvekci, zářením .nebo využití kombinací metod. Jedná se o tepelně – reologický proces založený na ohřevu, spojení dílu pod tlakem a chladnutí pod tlakem. Výběr metody svařování je závislý na polymerním materiálu, geometrii dílů, požadavcích na svár a na hospodárnosti [1].

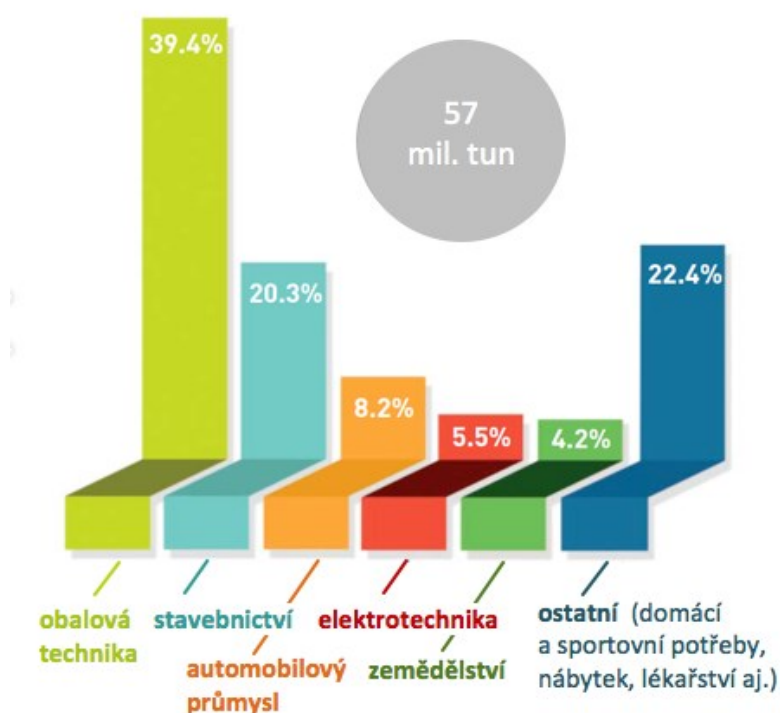
Náplní této práce je porovnání dvou svařovacích metod, metody vibrační s IR předeřhřevem a svařování pouze s IR předeřhřevem aplikovaných na svítilnách automobilů. Svařovány budou dva termoplasty polymethylmethakrylát a polykarbonátakrylonitril-butadién-styrén, které se standardně využívají k výrobě svítilen. Ačkoliv PMMA a PC/ABS jsou odlišné materiály, jsou vzájemně kompatibilní a jsou často svařovány. Výsledné metody svařování budou podrobeny zkouškám, jednak vizuálním, tak i dlouhodobým. Výsledkem práce je porovnání svařovacích metod a výsledné zhodnocení.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1. STRUKTURA A ZÁKLADNÍ POPIS POLYMERŮ

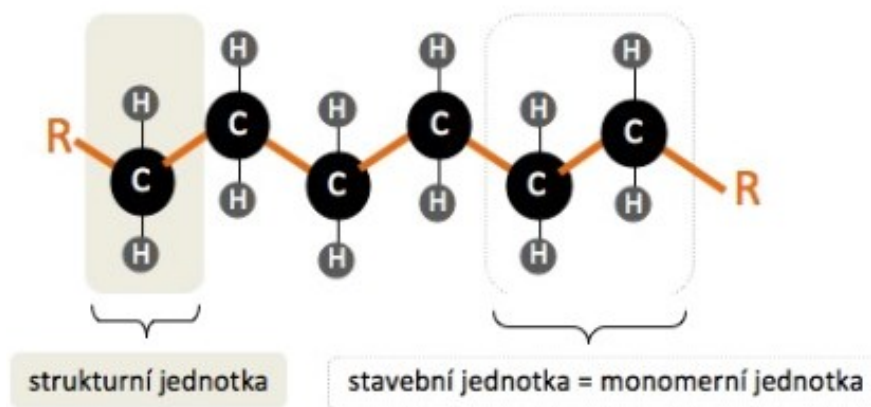
1.1. Podstata, význam a historie polymerů

Polymery v posledním desetiletí zaujímají obrovský rozvoj. Využívají se téměř ve všech odvětvích. Polymerní materiály mají různou vnitřní stavbu, vlastnosti a chemické složení. Historie polymerů, tedy v počátcích přírodního kaučuku, sahá až do roku 1496, kdy jej Kryštof Kolumbus převezl do Evropy. První syntetický uměle připravený polymer byl nitrát celulózy, který byl vynalezen již v roce 1846 [1]. Rozmach polymerů nastal v období od roku 1930, kdy byly objeveny nové látky, které se využívají až dodnes, například polyvinylchlorid, polyetylén, polystyrén a polymethylmethakrylát. Po druhé světové válce nastal věk plastů, objevený byl polyetylén a plastické látky se začaly využívat ve všech odvětvích lidské činnosti. Postupem času polymery začaly vytlačovat tradiční materiály jako jsou dřevo, papír, kov, sklo a kůže [2]. Spotřeba polymerů v Evropě roste, automobilový průmysl spotřebovává 8,2% celoevropské spotřeby.



Obrázek 1- Spotřeba plastů v Evropě[1]

Polymery můžeme rozdělit na přírodní neboli organické a syntetické. Syntetické polymery se vyrábějí tzv. řetězením z nízkomolekulárních látek zvaných monomerů. Vyrábí se chemickými cestami, a to polymerací, polykondenzací a polyadící. Můžeme tedy říci, že původně nízkomolekulární organická nebo anorganická sloučenina monomer přeměňuje na vysokomolekulární polymer a to díky chemické reakci, která se několikrát opakuje. Při polymeraci reagují malé monomerní molekuly a propojují se do velkého řetězce molekuly polymeru. Monomer je získáván z ropných frakcí nebo zemního plynu.



Obrázek 2 - Schéma makromolekulárního řetězce polyethylenu [1]

Polymer může vznikat z jednoho nebo více druhů monomerů a vzniká syntézou monomerních jednotek [1]. Pokud polymer vznikne z jednoho druhu monomeru pak se nazývá homopolymer, pokud se vytvoří z více druhů monomerů, pak se nazývá kopolymery.

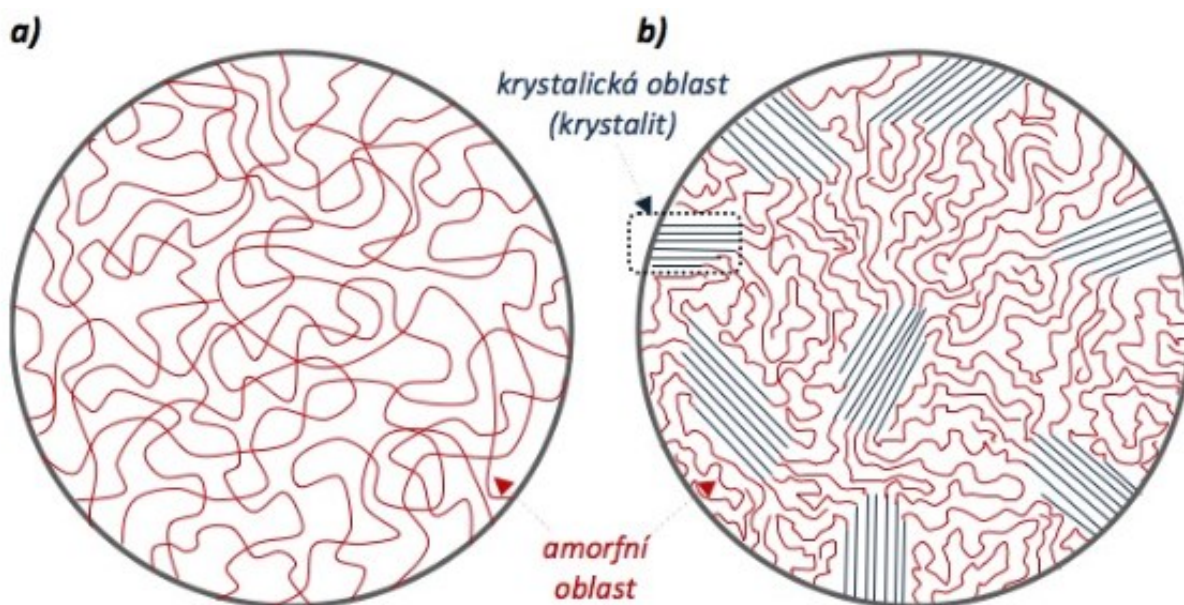
Molekulový tvar závisí na počtu vazebných míst, na kterých může vznikat kovalentní vazba [3]. Tvar molekul může být lineární, rozvětvený nebo síťový. Tvar molekul závisí na jejich vlastnostech. Lineární tvar má vyšší hustotu materiálu, vyšší pevnost, vyšší modul pružnosti, vyšší teplotní odolnost, nižší tažnost, dobrou tekutost taveniny, snadnou krystalizaci.

Rozvětvený tvar disponuje nižší hustotou materiálu, nižší pevností, nižším modulem pružnosti, nižší teplotní odolností, nižší tekutostí taveniny, nižší schopností krystalizovat. Zesíťované mají vysokou pevnost, vysoký modul pružnosti, vysokou teplotní odolnost a velmi nízkou tažnost.

Polymery jsou látky, jejichž vlastnosti jsou ovlivněny především délkou makromolekul. Pokud roste délka makromolekuly, zvyšuje se nám pevnost, ale dochází ke snížení tekutosti taveniny. Velikost makromolekul se vyjadřuje molární hmotností, ta nám především ovlivňuje teplotu tání, tekutost taveniny a mechanické vlastnosti polymerů. Často se při molární hmotnosti udává velikost makromolekul, vyjadřujeme ji jako polymerační stupeň, jedná se o základní faktor, který nám určuje fyzikálně mechanické vlastnosti polymeru.

Polymery ovlivňuje vzájemné uspořádání makromolekul. V tavenině mají makromolekuly uspořádání nepravidelné, tedy amorfní. Při tuhnutí a ochlazování taveniny mohou nastat dva případy uspořádání, amorfní a semikrystalické.

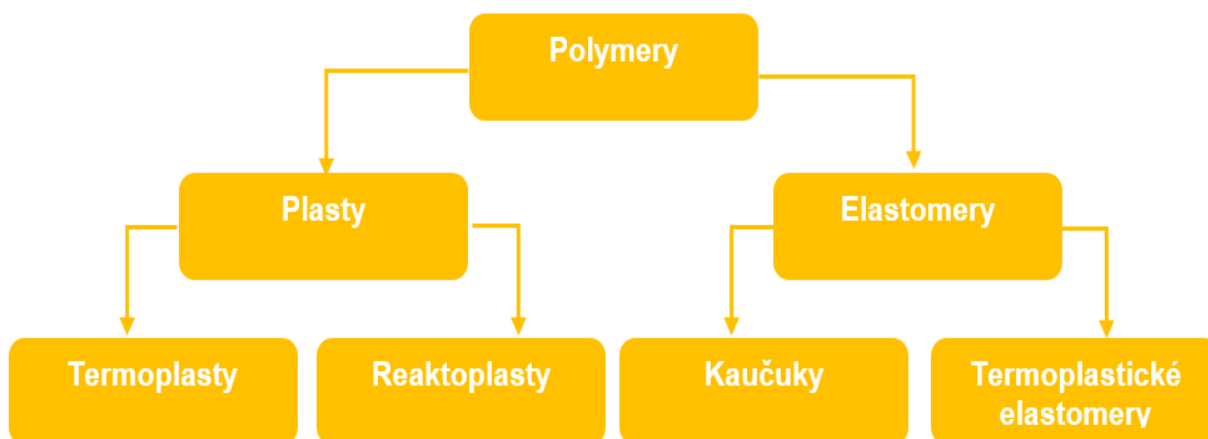
Amorfní znamená nepravidelné či náhodné uspořádání oproti uspořádání semikrystalickému, kde dochází k částečnému uspořádání, tedy jsou vytvořeny oblasti uspořádané (dodávají plastům pevnost) a obklopují je oblasti neuspořádané amorfního stavu (dodávající plastům ohebnost) [1].



Obrázek 3 - Schéma struktury polymerů a) amorfní; b) semikrystalické [1]

1.2. Rozdělení a charakteristika polymerů

Polymery se rozdělují na dvě základní skupiny plasty a elastomery. Plasty se rozdělují na termoplasty a reaktoplasty. Elastomery se dělí na kaučuky a termoplastické elastomery.



Obrázek 4 - Rozdělení polymerů [1]

Elastomery

Elastomery jsou polymery, kterým zvýšené namáhání nezpůsobuje většinou nevratné deformace. Jedná se o velice pružný, tedy elastický materiál, který se snadno deformuje a deformace je vratná bez následného poškození [1].

Kaučuky


Jsou to polymery, ze kterých řídkým sesíťováním vzniká elastomer nebo pryž. Mohou být přírodní nebo syntetické. Existují také kaučuky pro speciální využití, kde se požaduje dlouhodobá odolnost proti olejů a teplotám, těchto vlastností u normálního kaučuku nedosáhneme. Nejdůležitější speciální kaučuky jsou chloroprenový kaučuk, akrylátový kaučuk, silikonový a fluorouhlíkový kaučuk. Kaučuk se využívá na zdravotnické zboží, pneumatiky, hadice, nátěrové hmoty, lepidla, opláštění kabelů a těsnění. V tabulce jsou zobrazeny nejdůležitější kaučuky [1].

Zkratka	Název	Poznámka
NR	Přírodní kaučuk	V hlavním řetězci makromolekul obsahují dvojné vazby, proto k jejich vulkanizaci používáme nejčastěji síru. Na druhou stranu vzhledem k těmto dvojným vazbám vyžadují ochranu proti degradaci .
BR	Butadienový kaučuk	
SBR	Butadien-styrenový kaučuk	
IR	Isoprenový kaučuk	
EPM	Ethylen-propylenový kaučuk	EPM neobsahuje dvojné vazby vůbec, EPDM jen výhradně v bočních řetězcích. Proto jsou výborně odolné proti stárnutí .
EPDM	Ethylen-propylen-dién-terpolymerový kaučuk	

Obrázek 5 - Přehled základních kaučuků [1]

Termoplastické elastomery

Termoplastické elastomery jsou ohebné a elastické. Jejich výhodou je, že mají vlastnosti termoplastů, jednodušeji se recyklují a zpracovávají. Jejich struktura je tvořena nemísitelnými segmenty tvrdými (omezují vzájemné pohybování měkkých segmentů) a měkkými (zajišťují vysokou elasticitu materiálu). Využívají se na výrobu hadic, těsnění, podrážky na obuv [1].

Zkratka	Název	Charakteristika
TPE-S	Blokové styrenové kopolymery	Styrenové bloky se střídají s elastomerem (např. SBS)
		⇒ tvrdé bloky v makromolekule se střídají s elastomerními
TPE-E	TPE na bázi kopolyesterů	Polyesterové bloky se střídají s elastomerními
TPE-U	Termoplastické polyuretany	Polyuretanové bloky se střídají s elastomerními
TPE-A	TPE na bázi polyamidů	Polyamidové bloky se střídají s elastomerními

Obrázek 6 - Přehled základních termoplastických elastomerů [1]

Reaktoplasty

Reaktoplasty jsou polymery, které při zahřátí nebo přidání vytvrzovacího prostředku přecházejí z lineárního viskózního stavu do síťovaného stavu. To má za následek, že oproti termoplastickým materiálům, u kterých setrvává termoplastický jev i po natavení, reaktoplasty ztrácí termoplastický charakter a je již nevratný. Nelze je tedy po zpracování znovu tvarovat, svařovat, ani převést do taveniny. Jejich výhodou je, že mají vysokou chemickou a tepelnou odolnost. Reaktoplasty rozdělujeme na základní skupiny - fenoplasty, aminoplasty, epoxidy, polyestery, polyuretany [1].

2. TERMOPLASTY

2.1. Definice termoplastů

Termoplastické materiály hrají velice důležitou roli ve využití jako konstrukční materiál, především v automobilovém průmyslu, strojírenství a energetice. Termoplasty se skládají z různě dlouhých polymerních řetězců. Molekulární struktura může být lineární nebo rozvětvená. Struktura má nedílný vliv na mechanické a tepelné vlastnosti polymerů.



Obrázek 7 - Polymerní řetězec [4]

Termoplastické materiály při působení tepla měknou a přechází do tak zvaného plastického stavu a je možné je svařet [5]. Při působení tepla dochází k přeměně stavu na sklovitý, následuje stav kaučukovitý, plastický a stav taveniny. Kaučukovitý stav je takový stav, který při působení na termoplastický materiál silou protáhne a po přerušení síly se vrátí zpět na původní tvar. Polymerní řetězce se vzájemně přemisťují. V plastickém stavu se materiál přizpůsobuje a lze ho zpracovávat vyfukováním a válcováním. Ve stavu taveniny je materiál tekutý, a tak můžeme materiál svařovat případně vstříkovat [6].

Při působení vyšších teplot trpí náchylností k termooxidační destrukci, proto je vhodné nepůsobit příliš vysokými teplotami na materiál a omezit dobu ohřevu na minimální čas, který nám technologie dovolí.

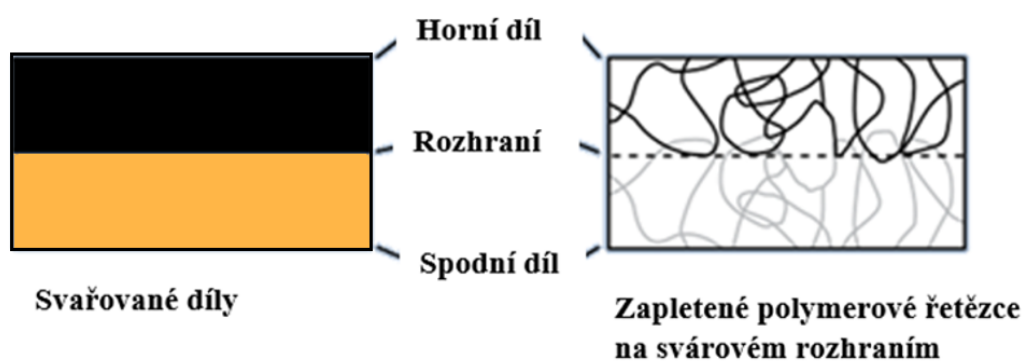
Základní parametry, které nám ovlivňují svařované spoje, jsou teplota závisující především na svařovaném materiálu, tlak působící na svařované spoje a čas svařování [5,6]. Termoplasty mohou být z rozvětvených nebo lineárních makromolekul dostatečným promícháním makromolekul obou svařovaných součástí v roztaveném stavu nám vznikne pevný svárový spoj po vychlazení [5].

Periodická tabulka termoplastů

	KOMODITNÍ	INŽENÝRSKÉ	HIGH-TECH
AMORFNI	PS-HI Houževnatý polystyren PS-GP Standardní polystyren ABS Akrylonitril butadien styren SAN Styren akrylonitril PVC-P Měkčený polyvinylchlorid SBS Styren butadien styren SMAH Styren malein-anhydrid ASA Akrylonitril styren akrylát SB Styren butadien PVC-U Neměkčený polyvinylchlorid CA Acetát celulózy CAB Acetát butyrol celulózy CAP Acetát propionát celulózy CP Propionát celulózy	PMMA Polymethylmethakrylát PPO Polyfenyloxid PC Polykarbonát PET-G Polyethylentereftalát glykolu PVC-UX Sesíťovaný polyvinylchlorid PVC-C Chlorovaný polyvinylchlorid	PSU Polysulfon PESU Polyethersulfon PPSU Polyfenylsulfon PEI Polyetherimid PAI Polyamidimid PI Polyimid PBI Polybenzimidazol
			PA 6-3-T Polyamid amorfni PPA Polyftalemid amorfni PARA Polyarylamid
	PE-LD Nízkohustotní polyethylen PE-LLD Lineární nízkohustotní PE PE-MD Středně-hustotní PE PMP Polymethylpenten EVAC Ethylen vinyl acrát PE-X Sesíťovaný polyethylen PB Polybuten PE-UHMWE Polyethylen s max. mol. hmotností PA-11 Polyamid 11 PA-12 Polyamid 12 PPA Polyftalamid PA 46 Polyamid 46 PEK Polyetherketon PEEK Polyetheretherketon	PE-C Chlorovaný polyethylen PE-VLD Polyethylen s velmi nízkou hustotou EMA Ethylen methakrylát PBT Polybutylen-tereftalát PA-6 Polyamid 6 PA-66 Polyamid 66 LCP Kapalně krystalická polymery PFA Perfluoralkoxy ECTFE Ethylen chlorotrifluor ethylen PCTFE Polychlorotrifluorethylen PTFE Polytetrafluorethylen PP-H Polypropylen homopolymer PP-C Polypropylen kopolymer PET Polyethylentereftalát krystalický PA-610 Polyamid 610 PA-612 Polyamid 612 POM Polysymetylem kopolymer EVOH Ethylen vinyl alkohol PPS Polyfenylensulfid FEP Fluorovaný ethylen-propylen ETFE Ethylen tetrafluor ethylen PVDF Polyvinyliden-fluorid	POM Polysymetylem homopolymer
SEMIKRISTALICKÉ	PE-HD Vysokohustotní polyethylen		

Obrázek 8 - Periodická tabulka termoplastů [1]

Jedná se o fyzikální proces na rozdíl od svařování kovů, kde makromolekuly zůstávají bez chemické přeměny řetězců. Svařováním tedy roztavíme materiál a opět ho necháme ztuhnout. Při kontaktu dvou svařovaných částí po natavení dochází k promíchání makromolekul a následnému vychladnutí a zpevnění svárového spojení [6].



Obrázek 9 - Polymer po svaření [4]

Při tuhnutí svárového spojení dochází ke změně objemu, jeho zmenšení a smrštění jako u kovových materiálů. Vnitřní napětí vznikající ve svařované součásti můžeme ovlivnit nižší rychlosti ochlazování [5].

Svařitelnost termoplastického materiálu je závislá na chemicko-fyzikální struktuře, protože můžeme svařovat termoplasty stejného druhu a typů. Jelikož každý termoplastický materiál má různé tokové vlastnosti, rozhodující je také index toku taveniny [6]. Hmotnostní index toku taveniny v jednotkách g/10 minut nám udává množství gramů termoplastů vytlačených z vytlačovacího plastometru a objemový index toku taveniny v jednotkách cm³/10 minut nám udává objem taveniny vytlačený z plastometru, tedy objemový a hmotnostní index má velký vliv na svařování součástí. Index toku taveniny má vliv na svařitelnost vzájemně kombinovaných termoplastických materiálů [5].

Snaha je dosáhnout co nejpříznivějších vlastností toku materiálu, ale nesmí dojít k degradaci materiálu vlivem tepla. Svařitelnost materiálu můžeme mít zaručenou, pokud indexy toku taveniny obou materiálů jsou blízké [6].

Tabulka 1 - Rozklíčování zkratk z obrázků [8]

PA 6	Nylon 6	PMMA	Akryl
PA 66	Nylon 66	POM	Acetal
PA 46	Nylon 46	PP	Polypropylen
PBT	Polybutylen -tereftalát	PPS	Polyphenylen -sulfid
PET	Polyethylen - tereftalát	PS	Polystyren
PC	Polykarbonát	PVC	Polyvinyl -chlorid
PC+ABS	Polykarbonát/ABS	SAN	Styren Akrylonitril
ABS	Akrylonitril Butadien Styren	TPE-E	Polyether-ester blokový kopolymer
HDPE	Polyethylen s vysokou hustotou		
LDPE	Polyethylen s nízkou hustotou		

	PA6	PA66	PA46	PBT	PET	TPE-E	PC	PC+ABS	ABS	HDPE	LDPE	PMMA	POM	PP	PPS	PS	PVC	SAN
PA6	•	•	•						•									
PA66	•	•	•						•									
PA46	•	•	•															
PBT				•	•	•	•	•	•									•
PET				•	•	•	•	•										
TPE-E				•	•	•	•	•										
PC				•	•	•	•	•	•			•			•			•
PC+ABS				•	•	•	•	•	•			•			•			•
ABS	•	•		•			•	•	•			•				•	•	•
HDPE										•								
LDPE											•							
PMMA							•	•	•			•						
POM													•					
PP														•				
PPS							•	•							•			
PS									•							•		
PVC									•								•	
SAN				•			•	•	•									•

Obrázek 10 - Svařitelnost termoplastů [4]

2.2. Hlavní druhy používaných plastů pro automobilový průmysl

PP

Polypropylen je extrémně chemicky odolný materiál a téměř zcela nepropustný pro vodu. Má nejlepší odolnost proti UV záření a stále více se používá ve stavebnictví. Použití: automobilové nárazníky, chemické nádrže, izolace kabelů, akumulátory, lahve, benzínové plechovky, vnitřní a venkovní koberce, kobercová vlákna [7].

PUR

Polyuretanové materiály jsou široce používány ve flexibilních pěnových polohách s vysokou pružností, pevné izolační panely z pěnové hmoty, mikroporézní pěnové těsnění,

odolná elastomerová kolečka a pneumatiky, automobilová závěsná pouzdra, tvrdé plastové součásti (například elektronické přístroje) [7].

PVC

Polyvinylchlorid má dobrou odolnost vůči chemickým a rozpouštědlovým útokům. Jeho vinyl obsah dává dobrou pevnost v tahu a některé stupně jsou flexibilní. Barevný nebo čirý materiál je k dispozici. Použití: Panely automobilových přístrojů, opláštění elektrických kabelů, potrubí, dveře, nepromokavé oblečení, chemické nádrže [7].

ABS

Akrylonitril-butadien-styren je odolný termoplastický materiál, odolný proti povětrnostním vlivům a některým chemikáliím, který je oblíbený pro vakuově tvarované komponenty. Jedná se o tuhý plast s charakteristikami pryže, který mu dává dobrou odolnost proti nárazu. Použití: palubní desky, kryty [7].

PA

Polyamid je známý jako nylon 6.6 nebo nylon 6. Oba tyto nylony mají vysokou odolnost proti otěru, nízké třecí vlastnosti a dobrou chemickou odolnost. Použití: ozubená kola, pouzdra, vačky, ložiska, povlaky odolné proti povětrnostním vlivům [7].

PS

Polystyren je velmi oblíbený, snadno vyrobitelný, ale má špatnou odolnost proti UV záření. Velkou nevýhodou polystyrenu je jeho křehkost a malá tepelná odolnost, při teplotě kolem 70 °C dochází v polystyrenu deformaci. Použití: kryty zařízení, knoflíky, displeje [7].

PE

Polyethylen má dobrou chemickou odolnost. Používají se dva typy, polyethylen s nízkou hustotou (LDPE) a vysokohustotní polyetylen (HDPE). Použití: vyztužené pro karoserie automobilů, elektrická izolace, obaly, kde je důležitá síla a estetika [7].

POM

Polyoxymethylen má vysokou tuhost, tuhost a vynikající výtěžnost, které jsou stabilní i při nízkých teplotách. Velmi dobrá je odolnost vůči chemikáliím. Použití: vnitřní a vnější obložení, palivové systémy, malé převody [7].

POM

Polyoxymethylen má vysokou tuhost, tuhost a vynikající výtěžnost, které jsou stabilní i při nízkých teplotách. Velmi dobrá je odolnost vůči chemikáliím. Použití: vnitřní a vnější obložení, palivové systémy, malé převody [7].

PC

Polykarbonát má odolnost proti UV záření, hladina průhlednosti je téměř dobrá jako u akrylu. Použití: bezpečnostní obrazovky, letadlové panely, nárazníky, brýlové čočky, světlomety [7].

PMMA

Polymethylmethakrylát má výborné optické vlastnosti, dobrou odolnost proti UV a povětrnostním podmínkám. Nevýhodou materiálu je jeho snadná zapalitelnost. Použití pro okna, displeje, světla [7].

PBT

Polybutylentereftalát má dobrou chemickou odolnost a elektrické vlastnosti, tvrdý a tuhý materiál má velmi dobrou odolnost vůči dynamickému namáhání, tepelnou a rozměrovou stabilitu. Snadná výroba - rychlá krystalizace, rychlé chlazení. Použití: skříně a rámečky pro mlhové světlomety, přední části střešního okna, kliky dveří, nárazníky, komponenty karburátoru [7].

PET

Polyethylentereftalát má podobné vlastnosti jako PBT, dobrá tepelná stabilita, dobré elektrické vlastnosti. Materiál se poměrně dobře mechanicky recykluje. Použití: rameno stěrače a kryty převodovek, držák světlometu, kryt motoru, kryty konektorů [7].

ASA

Akrylonitril-styren-akrylát stejně jako ABS má vysokou tuhost, dobrou chemickou odolnost, tepelnou stabilitu, vynikající odolnost proti povětrnostním vlivům, zlepšenou odolnost vůči účinkům ultrafialového záření a výborná vzhled bez lakování. Použití pro masky chladič, rozvodové skříně [7].

2.3. Termoplast Polymethylmethakrylát (PMMA)

PMMA je termoplastický materiál, který se vyrábí již od roku 1933. V České republice je tento materiál často nazýván jako „plexisklo“ [9]. Ve spoustě případů pro jeho vynikající transparentní vlastnosti nám materiál nahradil dříve používané sklo. Materiál patří do skupiny amorfních termoplastů. Pro výborné materiálové vlastnosti se stal jedním z nejpoužívanějších materiálů [8]. PMMA je propustný pro UV záření, IR záření nepropouští, můžeme tedy při svařování materiál přehřívat IR zářením. Výroba polymethylmethakrylátu je založena na polymeraci methylnthakrylátu, a to blokovou nebo suspenzní polymerací. Bloková polymerace slouží především k výrobě bloků či desek. Pro termoplastické zpracování je dodáván ve formě granulátu. V základním provedení je bezbarvý, ale lze ho snadno pigmentovat a dosáhnout transparentních odstínů [6].



Obrázek 11 - Granulát PMMA [10]

PMMA patří mezi materiály s dobrou teplotní odolností. Teplota měknutí se pohybuje v závislosti na střední molární hmotnosti od 84 ° C do 111 ° C dle Vicata B. Dosahuje vysoké propustnosti světla, která činí 92% a index lomu je 1,491. Pro výrobu světel a svítlen v automobilovém průmyslu se hodí především proto, že ze všech vyráběných plastů má největší světelnou propustnost. Využití PMMA se najde také v elektrotechnice, jedná se o velice dobrý izolant. Chemická odolnost je především proti slabým kyselinám a louhům, roztokům solí, olejům, vodě. Využití nachází i v potravinářském průmyslu, jedná se o fyziologicky nezávadný materiál.

Materiál se zpracovává především vytlačováním a vstřikováním, a to při teplotách 160°C. Žádány jsou vysoké tlaky při vstřikováním až 1500 barů. PMMA vyniká také svařitelností. Lze ho svařovat všemi dostupnými metodami: topným tělesem, IR

svařováním, vibračním, ultrazvukově. Používá se především tam, kde se využívají optické vlastnosti materiálu, jako jsou kryty světilen, světlometů, tachometrů, výstražné trojúhelníky, výroba čoček [6].

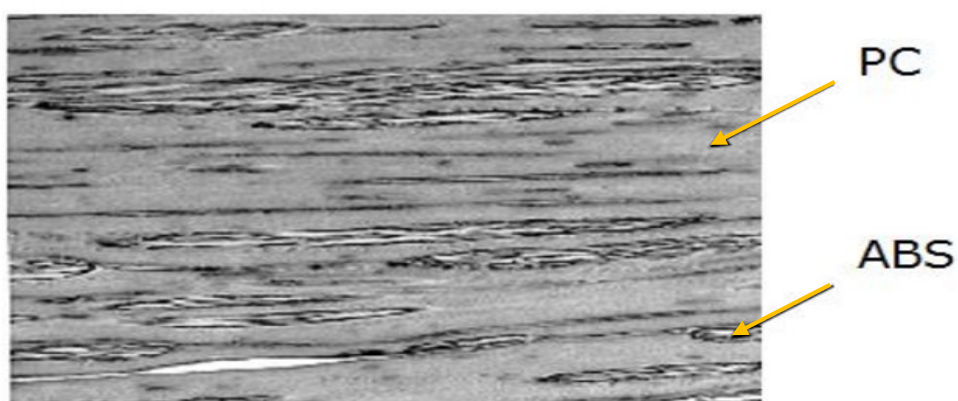
Polymethylmethakrylát vyniká vysokou tuhostí, pevností a tvrdostí. Materiál má výborné optické vlastnosti (vysoká průzračnost), vysoký lesk, vysokou odolnost proti poškrábání, vysokou tepelnou odolnost, odolnost proti povětrnostnímu stárnutí [9]. Nevýhodou materiálu je jeho snadná zapalitelnost a odolnost proti organickým rozpouštědlům [8].

Tabulka 2 - Vlastnosti PMMA [39]

Vlastnost	Norma	Hodnota	Jednotky
Hustota	ISO 1183	1,19	g/cm ³
Pevnost v tahu	ISO 527	73	MPa
Tažnost	ISO 527	3,5	%
E-Modul pružnosti v tahu	ISO 527	3200	MPa
Tvrdost podle Brinella	ISO 2039-1	195	MPa
Norma pro Tvrdost podle Brinella	-	H961/30	-
Charpy-vrubová houževnatost při 23 °C	ISO 179/1eA	2	KJ/m ²
Tepelná vodivost	DIN 52 612	0,19	W/K m
Koeficient délkové roztažnosti	ISO 11359	80	10 ⁻⁶ /K
Teplota tavení popř. zesklivatění	ISO 11357	110	°C
max. teplota krátkodobá	-	100	°C
max. teplota dlouhodobá	-	90	°C
Nasákavost při norm. podmínkách	ISO 62	0,6	%
Nasákavost při vlhkosti	ISO 62	2	%
Chování při hoření podle UL 94	IEC 60695-11-10		-

2.4. Termoplast (PC/ABS)

Polykarbonát je charakterizovaný vysokým modulem pružnosti, vysokou houževnatostí a vysokou rázovou houževnatostí. Akrylonitril-butadien-styren je pryžový termoplastický materiál s charakteristicky nízkými pořizovacími náklady, ale má nízkou odolnost proti chemikáliím a plamenům. Smícháním složek termoplastických materiálů získáme požadované vlastnosti. Výroba PC/ABS byla zahájena v roce 1977. Složení směsi je vzájemně kompatibilní; řetězce štěpených pryžových (butadienových) částic ABS zůstanou nerozpustné, ale pevně spojeny jejich styren-akrylonitrilovými bočními řetězci, což vytváří dobré fyzikální vlastnosti materiálu [11].



Obrázek 12 - Struktura PC/ ABS [8]

Materiál se zpracovává vytlačováním, vyfukováním a tvarováním. Kombinací těchto materiálů jsme dosáhli lepších mechanických vlastností za příznivou pořizovací cenu, jelikož PC patří mezi dražší polymery a ABS mezi méně nákladné [8]. Směs polykarbonát/akrylonitril-butadien-styren (PC-ABS) je amorfní materiál založen na tavném smíchání PC/ABS. Sloučení PC a ABS dodává materiálu lepší kombinaci mechanických, tepelných vlastností. Vnikající je také zpracovatelnost materiálu v kombinaci s tuhostí materiálu při nízkých teplotách [12].

Závislost použití při vyšších teplotách je na poměru PC a ABS. Dobrá je i odolnost proti povětrnostním vlivům, dochází pouze k minimální změně barvy a mechanickým vlastnostem. Materiál je snadno obrobitelný, ale chemická odolnost není tak příznivá v kontaktu s alkalickými látkami a chlorovodíky může dojít ke zdeformování a prasknutí [8].



Obrázek 13 - Granulát PC/ABS [8]

Směsi PC-ABS se používají v nejrůznějších aplikacích včetně automobilového průmyslu jak v exteriéru, tak i v interiéru. Pro jeho vynikající vlastnosti nemá takzvaný třískový lom ani v nízkých teplotách, proto je vhodný pro použití v automobilovém průmyslu z hlediska bezpečnosti. Používá se jako nosné konzole, příruční skříňky, odkládací schránky, spodní přístrojové panely, sloupky, horní konzole, vyfukovaná zadní čela sedaček, konstrukční díly, části svítilen a světlometů. Využití se najde také v jiných průmyslových aplikacích, jako jsou zdravotnické vybavení, komponenty telefonů, počítačové klávesnice [12].

Tabulka 3 - Vlastnosti [38]

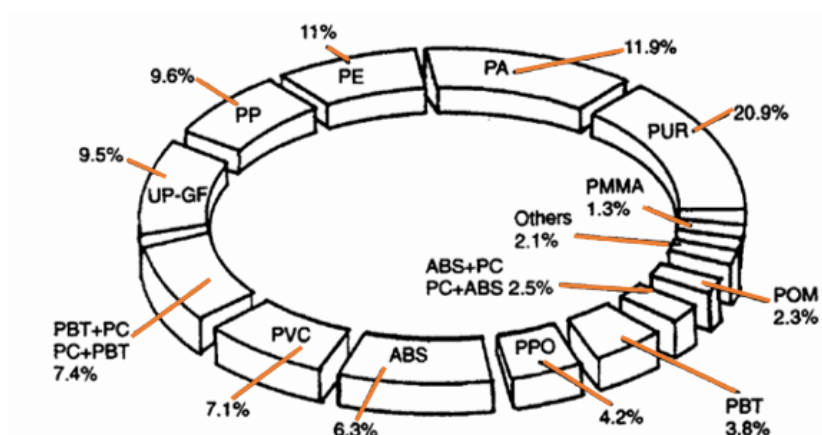
Vlastnost	Norma	Hodnota	Jednotky
Hustota	ISO 1183	1,13	g/cm ³
Pevnost v tahu	ISO 527	52	MPa
Tažnost	ISO 527	50	%
E-Modul pružnosti v tahu	ISO 527	2200	MPa
Tvrdost podle Brinella	ISO 2039-1	90	MPa
Norma pro Tvrdost podle Brinella	-	H358/30	-
Izod-vrubová houževnatost při 23 °C	ISO 180/1A	48	KJ/m ²
Tepelná vodivost	DIN 52 612	0,2	W/K m

Koeficient délkové roztažnosti	ISO 11359	80	$10^{-6}/K$
Teplota tavení popř. zesklivatění	ISO 11357	130	°C
max. teplota krátkodobá	-	120	°C
max. teplota dlouhodobá	-	90	°C
Nasákavost při norm. podmínkách	ISO 62	0,2	%
Nasákavost při vlhkosti	ISO 62	0,7	%
Chování při hoření podle UL 94	IEC 60695-11-10	HB	-

3. POUŽITÍ PLASTŮ V AUTOMOBILOVÉM PRŮMYSLU

3.1. Plasty - základní vlastnosti použití pro automobily

Plasty nám nabízejí několik výhod pro použití pro automobilový průmysl [15]. V konstrukci automobilů je důležitým prvkem jeho lehkost a jednoduchost zpracování [16]. Plasty mohou být transparentní poloprůsvitné, nebo neprůhledné. Plasty mohou být měkké, pružné a tvrdé, můžeme z nich vytvořit jakýkoliv tvar a jsou snadno pigmentovatelné.



Obrázek 14 - Procentuální rozdělení polymerů v automobilovém průmyslu [16]

Mohou nám poskytnout odolnost proti chemikáliím a korozi v závislosti na použitém druhu. Vynikají také jako tepelné a elektrické izolátory. Ve většině případů jsou plasty nákladově efektivní pro použití pro automobilový průmysl. Během uplynulého desetiletí došlo k významnému pokroku jak ve využití, tak k recyklaci automobilových plastů.

Existuje proto mnoho dobrých důvodů proč plasty použít. Jsou lehké, to znamená nižší hmotnost vozidla a snížení spotřeby paliva a také bezpečnost. Jsou tedy stále klíčovým hráčem v automobilovém průmyslu. Navíc poskytují svobodu při navrhování designu [16].

Tabulka 4 - Rozdělení druhu polymerů pro díly v automobilovém průmyslu [15]

Komponenty	Využívaný materiál
Nárazníky	PS, ABS, PC/PBT
Sedadla	PUR, PP, PVC, ABS, PA
Přístrojová deska	PP, ABS, SMA, PPE, PC
Palivové systémy	HDPE, POM, PA, PP, PBT
Vnitřní vybavení	PP, PPE, UP
Komponenty v motorovém prostoru	PA, PP, PBT
Obložení interiéru	PP, ABS, PET, POM, PVC
Elektrické součásti	PP, PE, PBT, PA, PVC
Vnější obložení automobilu	ABS, PA, PBT, POM, ASA, PP
Osvětlení	PC, PBT, ABS, PMMA, UP
Těsnění, zvuková izolace	PVC, PUR, PP, PE
Nádoby na kapaliny	PP, PE, PA

V průměru činí hmotnost polymerů na jedno vozidlo okolo 113 kg a odhaduje se růst až 137 kg na vozidlo. Typy plastů vybraných pro použití v automobilech prochází dramatickou změnou, která se řídí ekonomikou, designem, inovací a výkonovými požadavky. Avšak tyto hnací faktory nevedou pouze k nahrazení kovů plasty, ale mají za následek vývoj nových plastů.

[illegible]

29

3.2. Interiérové použití

Dnes představují interiérové komponenty největší podíl použitých plastů ve vozidlech. S postupem času se termoplasty dále rozšiřují pro více aplikací a usnadňují nám výrobu složitých komponent. Například přístrojové desky automobilu byly dříve vyrobeny z několika kovových dílů, tím se zvýšily náklady na výrobu a došlo k rapidnímu zvýšení hmotnosti. Používají se tedy především na volanty, přístrojové desky, sedadla, držáky nápojů, zvukové izolace, řadící páky [15].

3.3. Svítilny a světlomety

Dříve používané skleněné světlomety a svítilny zcela vymizely a byly nahrazeny za transparentní polykarbonátové (PC) nebo jejich směsi, pro zlepšení vlastností příkladem je PC/ABS. Tyto materiály jsou navrženy tak, aby odolávaly vysokým teplotám, aby byly mechanicky odolné a měly transparentní stálost. Výhodou je, že je můžeme tvarovat do jakéhokoliv tvaru. Můžeme říct, že světla automobilů jsou jednou z nejběžnějších aplikací tohoto materiálu. Po pigmentaci můžeme materiál využít na zadní svítilny a směrové [15]. Ke snížení výrobních nákladů svítilen a světlometů dopomohla metoda vstřikování ve vysokých objemech.

Požadavky na světlomety jsou také v dodržování předepsaných norem pro bezpečnost motorových vozidel. Aby byly splněny všechny normy, plasty používané v čočkách a reflektorech musí být dodržovány některé kritické požadavky. Nesmí disponovat vadami, jako jsou bubliny a cizí částice větší než 0,002 palců; maximálně pouze jedna vložená částice větší než 0,008 palce, to je povoleno pro každých 20 cm³ materiálu. Požadovaný povrch musí být hladký [41].

Počáteční míra použití plastu v motorovém prostředí byla ve velmi malém množství, protože zde panují náročné až extrémní podmínky. Po dlouhém období dokázali inženýři vyvinout nové plastické materiály, které dokáží odolávat vysokým i nízkým teplotním vlivům a také vysokému mechanickému opotřebení.

Polybutylentereftalát se používá především v motorovém prostoru pro elektronické konektory, připojovací zařízení, spínače a různé kryty. Tento materiál nabízí vynikající chemickou odolnost, dielektrické vlastnosti, odolnost při nízkých teplotách až do -40 ° C a dobrý modul pevnosti při zvýšených teplotách, odolnost proti ohni. Použití plastového materiálu na sací potrubí tak zlepšilo průtok vzduchu, odlíváním kovů jsme nedosáhli takové kvality vnitřních stěn jako nyní.

Použití plastických materiálů v motorovém prostředí nám nabízí výhody, jako jsou nízké náklady výroby, odolnost proti korozi a především nižší hmotnost. Využívá se především pro výrobu systému chlazení, součásti karburátoru, palivovou nádrž, držák palivové nádrže, těsnění, kryt motoru, součásti brzd [15].



Obrázek 16 - Světlo automobilu [43]

3.4. Exteriér automobilů





Snad nejznámější použití plastů v automobilech je na předních a zadních náraznících. Jejich výroba se datuje od 80.let. V minulosti byla snaha již tvarované nárazníky při jejich tvarovém zpracování přizpůsobit barvě vozu, ale zjistilo se, že je to velice obtížné a nelze přizpůsobit barvu přesně barvě karoserii.

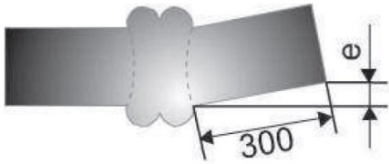
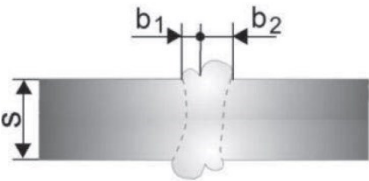

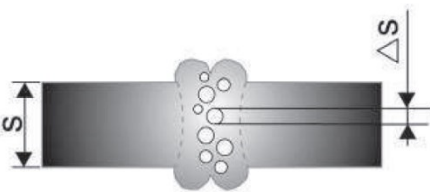

Plasty v exteriéru slouží především jako nárazníky automobilu nebo jako kliky vnějších dveří, chrániče spodní části automobilu proti korozi. Panely vnějších karosérií vozidel zahrnují dveřní panely, střechu, podlahu, blatníky, kapotu. Nicméně vnější podmínky prostředí omezily používání plastů v některých vnějších částech automobilu [15]. Automobilový průmysl si stále více uvědomuje důležitost recyklace. Proto se výrobci komponentů vozidel snaží pracovat s recyklovatelnými díly a přidávají recyklovatelný materiál během výrobního procesu. Účinné míchaní recyklátu s novým materiálem nabízí ekonomické a ekologické výhody. Tyto kroky mají velký vliv na životní prostředí.

Do nových dílů se obecně používá 30% hmotnosti šrotu. V historii tyto materiály byly uloženy, na skládce nyní se materiály znovu používají ve stejných výrobcích nebo v jiných [15].

4. VADY SVAŘOVANÝCH SOUČÁSTÍ S IR OHŘEVEM

Tabulka 5 - Vady při svařování s IR ohřevem [17]

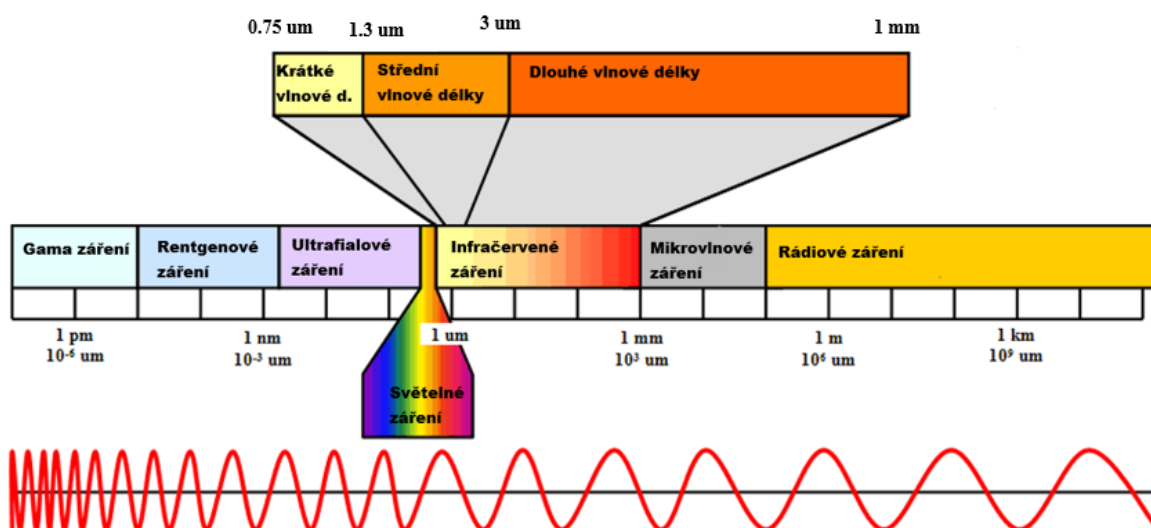
Název	Popis
<p>Praskliny</p> 	<p>Mohou být podélné nebo příčné ke svařovému spoji.</p> <p>Oblast výskytu</p> <ul style="list-style-type: none"> - ve svaru - v základním materiálu - v oblasti postižené teplem
<p>Vruby ve výronku</p> 	<p>Příčiny</p> <ul style="list-style-type: none"> - nedostatečný spojovací tlak - krátký čas zahřívání - krátký čas chlazení - změna polohy obrobku během svařovacího procesu
<p>Okrajové zářezy</p> 	<p>Okrajové zářezy mohou být v základním materiálu, nebo přes svařové plochy</p> <p>Příčiny</p> <ul style="list-style-type: none"> - špatně nastavený upínací nástroj - nesprávná přeprava dílu
<p>Posun svařovací plochy</p> 	<p>Příčiny</p> <ul style="list-style-type: none"> - v závislosti na materiálu a jeho tloušťce se může vyskytnout tato odchylka

<p>Naklopení spojovacích ploch</p> 	<p>Příčiny</p> <ul style="list-style-type: none"> - chyba svařovacího stroje - chyba instalace dílu do stroje - nepřipustné zavedení síly během fáze chlazení
<p>Různě tvarové vruby</p> 	<p>Příčiny</p> <ul style="list-style-type: none"> - naklopení topného tělesa - neosazená rovina spojení
<p>Nedostatečné roztavení</p> 	<p>Příčiny</p> <ul style="list-style-type: none"> - vlhkost - znečištěná svařovací plocha - zoxidovaná svařovací plocha - příliš dlouhá doba od ohřátí materiálu ke vzájemnému spojení - špatná teplota topného tělesa - příliš nízká spojovací síla
<p>Póry a cizorodé látky</p> 	<p>Výskyt může být individuální, početně rozptýlené nebo nahromaděné póry a ve formě vměstku</p> <p>Příčiny</p> <ul style="list-style-type: none"> - tvorba páry během svařování (voda, rozpouštědla, čističe) - špinavý topný článek
<p>Dutinky ve spojovací rovině</p> 	<p>Příčiny</p> <ul style="list-style-type: none"> - příliš malý spojovací tlak - příliš krátký čas chlazení

5. INFRAČERVENÉ SVAŘOVÁNÍ BEZDOTYKOVÝM PŘENOSEM ZÁŘENÍ

5.1. Infračervené záření

Z původního slova infra- red pocházející z latiny v překladu znamená "pod červenou". Zdrojem záření mohou být tělesa s vyšší teplotu (např. Slunce). Tělesa, která IR pohlcují, jsou zahřívána. IR záření objevil britský astronom Sir William Herschel již v roce 1800 a to rozložením slunečních paprsků pomocí optického spektrometru [19]. Přístroj nazývaný spektrometr pro měření velikosti zářivé síly při různých vlnových délkách se skládal ze 3 dílů. První byl hranol, který zachytil sluneční paprsky a rozložil je na barevné spektrum, které dopadalo na malý panel se štěrbinami. Každou štěrbinou prošla pouze jedna barva spektra, která dopadala na skleněný rtuťový teploměr. Změřením teploty se zjistilo, že u červeného spektra a jeho okrajů byla teplota vyšší než u jiných barev. Tento pokus dokazoval, že existuje záření, které je neviditelné a přenáší teplo. Jelikož záření je neviditelné, bylo nazváno infračerveným [19, 20]. Infračervené světlo je tedy elektromagnetické záření s delší vlnovou délkou než světlo viditelné.



Obrázek 17 - Přehled záření [18]

V polovině padesátých let začal automobilový průmysl využívat infračerveného záření na vytvrzování laku automobilu [20]. Infračervené záření můžeme rozdělit do více spektrálních oblastí nebo pásem na základě vlnové délky. Neexistuje však přesná definice jednotlivých hranic. Infračervené záření se obvykle rozděluje na krátké vlnové délky, střední vlnové délky a dlouhé vlnové délky.

Krátké vlnové záření se skládá z vlnových délek od 0,75 až 1,3 mikronů. Jeho frekvence se pohybuje přibližně od 215 THz do 400 THz. Tato skupina se skládá z nejdelších vlnových délek, nejkratších frekvencí a produkuje nejmenší teplo [18].

Intermediární pásmo IR, nazývané také jako střední pásmo IR, zahrnuje vlnové délky v rozmezí od 1300 nm do 3000 nm - nebo 1,3 až 3 mikrony. Frekvence se pohybují od 20 THz do 215 THz [18].

Vlnová délka v infračerveném pásmu, které jsou nejbližší mikrovlnám, se pohybuje od 3000 nm do 1 mm - nebo 3 až 1 000 mikronů. Frekvence se pohybují od 0,3 THz do 20 THz. Tato skupina se skládá z nejkratších vlnových délek a nejdelších frekvencí a produkuje nejvíce tepla.

Oblast použití

Infračervené záření může být použito jako zdroj topení, svařování plastů, sušení tisku, vytvrzování povlaků a tváření plastů, IR přenos je také vhodný pro komunikaci mezi počítačovými periferiemi. Využívá se také v medicíně [20].

5.2. Infračervené svařování

5.2.1. Popis metody

Použití infračerveného svařování plastů se datuje od roku 1970. Dříve se jednalo o dotykový přenos tepla, tedy IR zářiče byly v keramických pouzdrech a při natavení svařovacích ploch se jejich ohřívací nástroj dotýkal. Infračervený ohřev svařovacích spojů je založen na principu infračerveného zdroje, který vysílá světelné vlny energie, které jsou absorbovány na povrch součástí. Kritickým parametrem je rychlost ohřevu svařovacích spojů. Při vhodné teplotě se termoplastické materiály pouze roztaví, pokud je však teplota příliš vysoká a ohřívání rychlé, hrozí degradace materiálu ve formě spálení. V tomto případě

záleží především na tom, jak rychle termoplastický materiál dokáže pohltit infračervenou energii. Důležité je dosáhnout dostatečné hloubky prohřevu materiálu.



Obrázek 18 – Infračervené svařovací zařízení [21]

Rychlost, při které materiál absorbuje infračervené vyzařující teplo, je charakterizována třemi vlastnostmi: absorpční schopnost, propustnost záření a odraz záření. Tyto vlastnosti jsou ovlivněny typem materiálu, barvou, plnidly a dalšími faktory. Také záleží na vzdálenosti mezi IR nástrojem a ohřívaným materiálem.

Můžeme tedy říci, že je hodně ovlivňujících faktorů, které ovlivňují, jak rychle termoplastický materiál absorbuje infračervenou energii, aby nedošlo k nežádané degradaci materiálu a vzniku svárových vad či neprůvarů.

Například neprůhledný černý materiál s vysokým podílem skleněného plniče absorbuje IR energii ve velmi vysoké formě. Na druhé straně můžeme mít bílý materiál bez přidaných plniv, zde se materiál nebude pohlcovat počáteční IR energií. Neexistuje zde velké riziko přehřátí, ale celková doba cyklu je prováděna delší dobu. Při infračerveném svařování mezi svařovanou součástí a infračervenými výbojkami nedochází k žádnému kontaktu. Proto zde

není žádná možnost odstranění nerovností svárových ploch jako u svařování horkým tělesem s dotykem, kde při doteku dochází k zarovnání nepatrných nerovností. Z tohoto důvodu je velmi důležité, aby rozměry obou svařovaných součástí byly přesné.

Důležité je také u součástí se složitým tvarovým návrhem, aby byl povrch rovnoměrně ohříván. Pokud se během fáze taveniny vyskytne nerovnoměrný ohřev, bude pak pravděpodobně docházet k nerovnoměrnému tlaku při spojování součástí a to bude mít za výsledek nekvalitní svar. Při infračerveném svařování vystavujeme některé součásti stroje infračervenému záření, což je pro některé součástky škodlivé, proto se zranitelná místa chrání před infračervenou energií [22].

5.2.2. Základní popis stroje

Podobně jako u stroje vibračního svařování s IR předeřevem je základ konstrukce svařen z ocelových profilů. Výhodou tohoto zařízení je, že není kladen takový důraz na pevnost stroje, nedochází zde k žádným vibracím, proto zde není taková nutnost používat vibrační tlumiče a izolanty proti hluku. Vkládání dílu se provádí předními posuvnými dveřmi. Nespornou výhodou je umístění horního nástroje a IR zrcadla na hliníkových profilových systémech.

Umožňuje nám to snadnou přestavbu a konfiguraci, nejsou zde kladeny takové nároky na dimenzování, po bezkontaktním nahřátí součástí stroj pouze vyvíjí přítlačnou sílu na svařenec. Výměna nástroje může být provedena předními dveřmi, nebo zadními údržbářskými v závislosti na výrobních podmínkách. Výměna nástrojů se pohybuje kolem 10 min, záleží na složitosti a velikosti. Sendvičová konstrukce chrání IR nástroj.

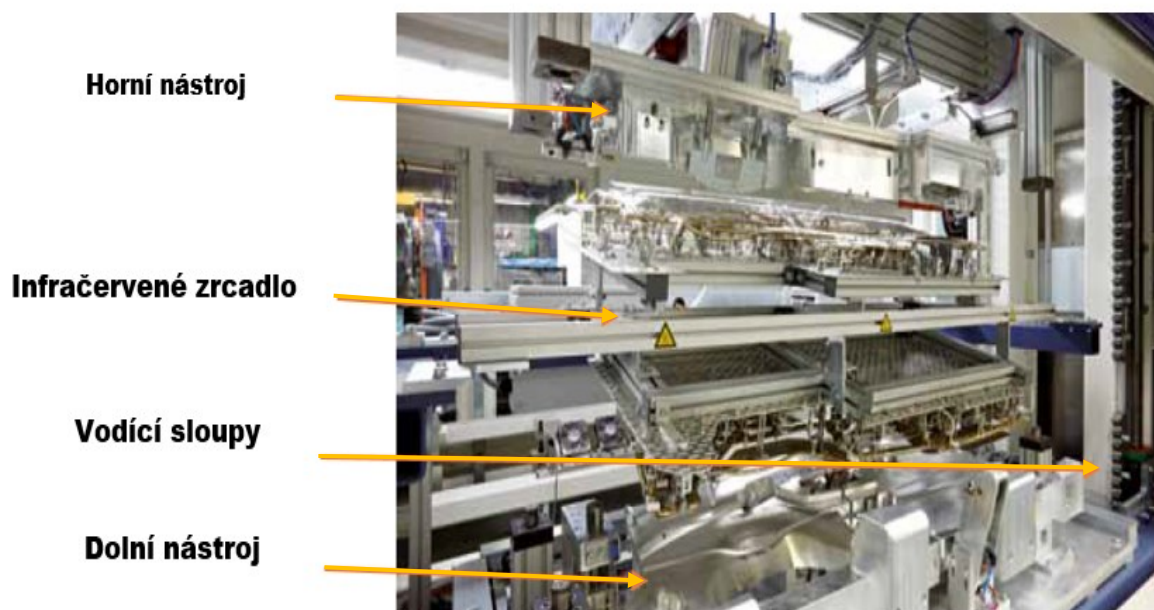
Topné těleso a stroj tvoří hlavní jednotku, proto při každé výměně topného tělesa by měl být stroj pokaždé znovu kalibrován. Topné těleso je navrženo tak, aby dokonale při provozních podmínkách ohřívalo svařované plochy svařence. IR prvky bezdotykového svařování můžeme klasifikovat podle vlnových délek.

Klasifikují se do 3 typů:

- IR prvky s krátkou vlnou (Rozsah vlnových délek až 1,6 μm)
- IR prvky se střední vlnou (Rozsah vlnových délek > 1,6 μm až 3,5 μm)
- IR prvky s dlouhou vlnou (Rozsah vlnových délek > 3,5 μm)

Infračervené prvky jsou obecně zkonstruovány tak, že vlákno je vloženo do kovové nebo keramické hmoty. Zahřeje se až na teplotu 1000 °C. Teplo nastavené na stroji s měřeným teplem má určité odchylky vyplývající z technicky podmíněných nepřesností (odchylka regulátoru, rozložení teploty přes účinnou oblast), montážní polohy prvku (účinky stínění) a vlivu prostředí. Vzhledem k tomu, že každý topný prvek má vlastní charakteristiku záření, musí být kalibrovány. Kalibrace se provádí při teplotě okolí 23 ± 2 ° C. Vzhledem k tomu, že topné články mají vysoké teploty, se při měření používají bezkontaktní měřicí přístroje [22].

Horní, spodní IR zrcadlo může být ovládáno hydraulicky, pneumaticky, elektronicky. Horní i spodní nástroj se skládá z hliníkových opracovaných desek, které odpovídají obrysu svařované součásti. Celý stroj je řízen mikroprocesorem. Pro jednoduché nastavení je opatřen dotykovou obrazovkou a porty umožňující připojení klávesnice, USB [22].



Obrázek 19 - Infračervené svařování popis základních částí stroje [23]

5.2.3. Procesní parametry

Hlavní parametry svařování IR metodou jsou:

- Doba ohřevu svařované plochy
- Vzdálenost IR zdroje od svařovacích ploch materiálu
- Čas potřebný pro přechod do fáze taveniny materiálu
- Spojovací tlak

Teplota ohřevu závisí na teplotě tavení plastické hmoty a geometrii svařovaných dílů (rozměr dílu). Intenzita IR záření vede k pomalejšímu zvyšování teploty a tedy k pomalému ohřevu, pokud však chceme dosáhnout určité tloušťky taveniny, je tento proces nezbytný. Tloušťka a vlastnosti tavné fáze jsou důležité pro pevnost spojení.

Zvýšení tlaku obecně zvyšuje pevnost svaru v důsledku vtlačování a promíchání roztaveného materiálu. Další faktory, které mohou ovlivnit kvalitu svaru jsou: rozměrová stabilita součástí, barva polymerů, průsvitnost, upínací mechanismus svařovaných součástí, přítomnost vlhkosti a doba přechodu mezi tavením svárového spojení a svařováním [22].

Svařovací tlak u svařování, který nám vytváří příslušný svařovací stroj na svařovanou součást, můžeme rozdělit do 3 kategorií:

Předem nastavený svařovací tlak

Spojovací tlak je nastaven předem na stroji a je udržován stále stejný při opakujícím se svařování.

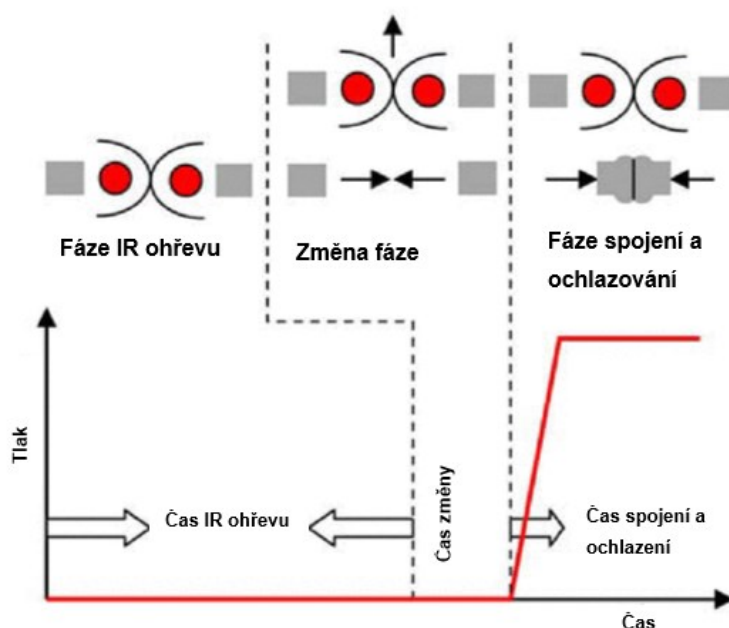
Svařování se zarážkami

Při tomto procesu má horní a spodní nástroj nastavitelné dorazové zarážky k nastavení příslušného tlaku na svařovaný díl.

Svařování s kombinovaným spojením

Tento proces je zcela automatický. Každé svařování je ovládáno řízením stroje, který hlídá teplotu ohřevu svařovaných dílců a automaticky v každé operaci nastaví příslušný spojovací tlak [24].

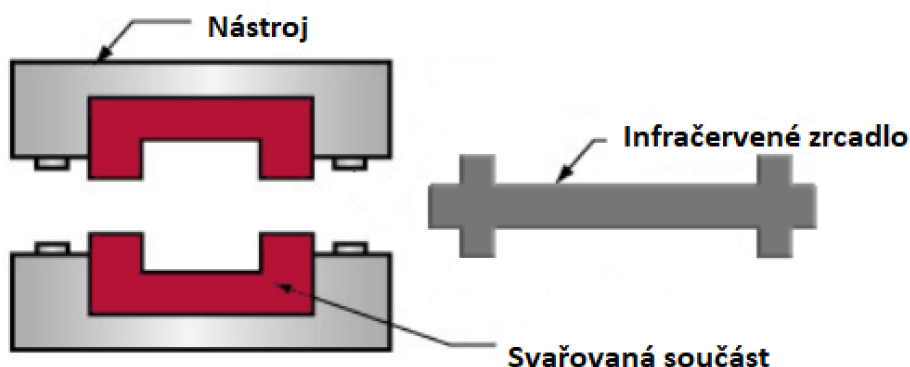
5.2.4. Základní princip fází svařování



Obrázek 20 - Popis fází při svařování [25]

První krok

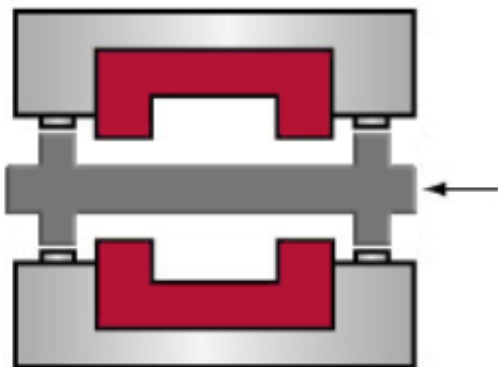
Vložení svařované součásti do svařovacího stroje. Tuto funkci může vykonávat operátor, nebo automatické zařízení, například robotické rameno. Ve většině případů umístujeme dva díly, a to do horního a spodního nástroje. Správné nasazení je zajištěno pomocí přesných fixačních bodů, aby byla zajištěna dostatečná podpora pro přesné usazení. Poté jsou dílce zajištěny, například vakuově nebo fixačními úchyty. Správné vyrovnaní a usazení dílů je důležité před vlastním svařováním [26].



Obrázek 21 - První krok svařování [26]

Druhý krok

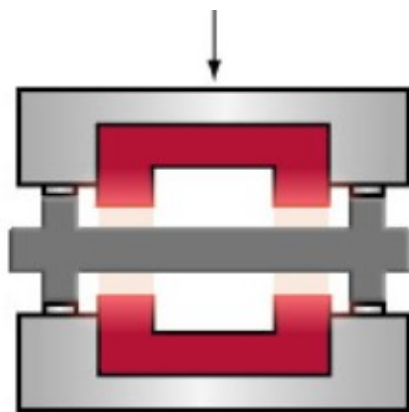
Po vykonání prvního kroku dochází k uzavření bezpečnostních dveří. V případě ručního ovládání je tato funkce vykonávána stiskem dvou bezpečnostních tlačítek pomocí dlaní. K ohřevu v oblasti spojů dílů se mezi poloviny svařovaných dílů automaticky umístí infračervené zrcadlo. Je zde dodržen určitý odstup mezi svařovanými součástmi a infračerveným zrcadlem bez skutečného kontaktu [26].



Obrázek 22 - Druhý krok svařování [26]

Třetí krok

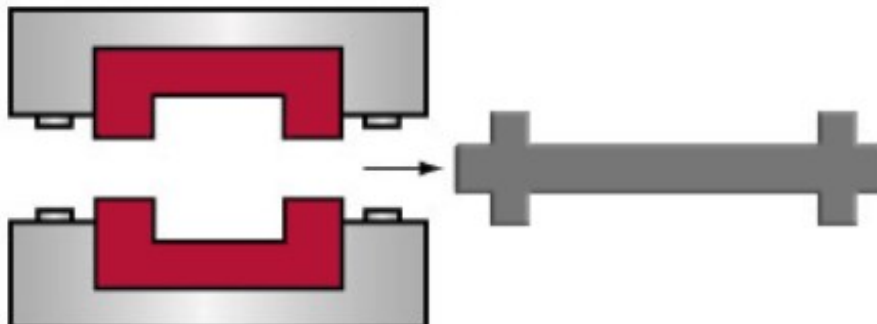
Nyní se se infračervené zrcadlo spustí a dochází k tání svárových ploch. Když materiál přechází do roztaveného stavu, roztavený materiál zůstává ve svařované oblasti (bez posunutí materiálu) [26].



Obrázek 23 - Třetí krok svařování [26]

Čtvrtý krok

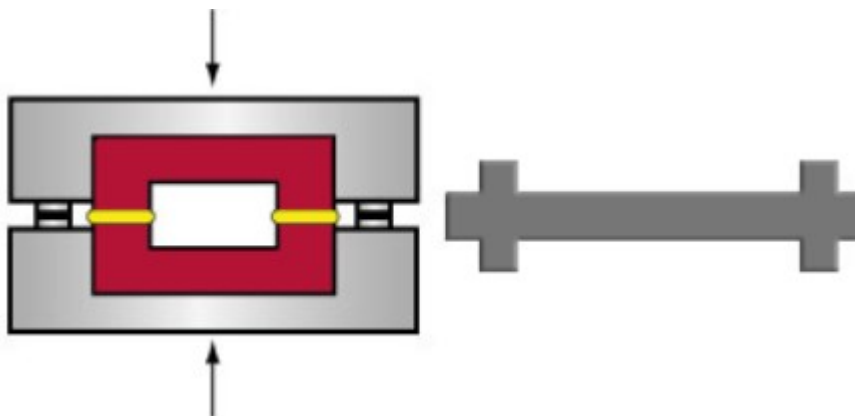
Po dosažení správné teploty a natavení materiálů v oblasti svárových spojů se infračervené zrcadlo vrátí do původní polohy před svařováním, tedy odjede ze svařované oblasti [26].



Obrázek 24 - Čtvrtý krok svařování [26]

Pátý krok

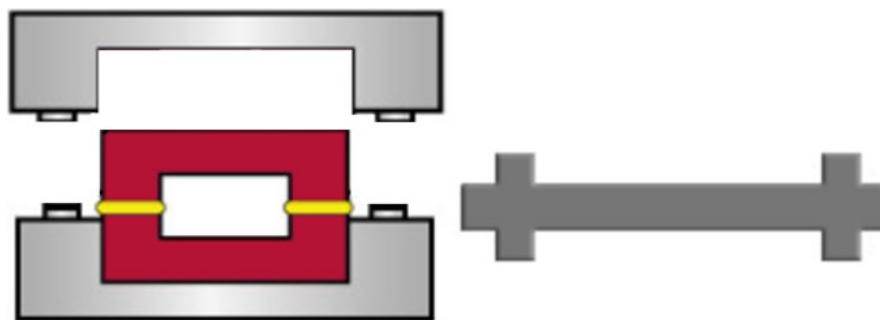
V pátém kroku dojde ke stlačení obou svařovaných dílů s předem nastaveným tlakem a tak ke kontaktu svarových ploch [26].



Obrázek 25 - Pátý krok svařování [26]

Šestý krok

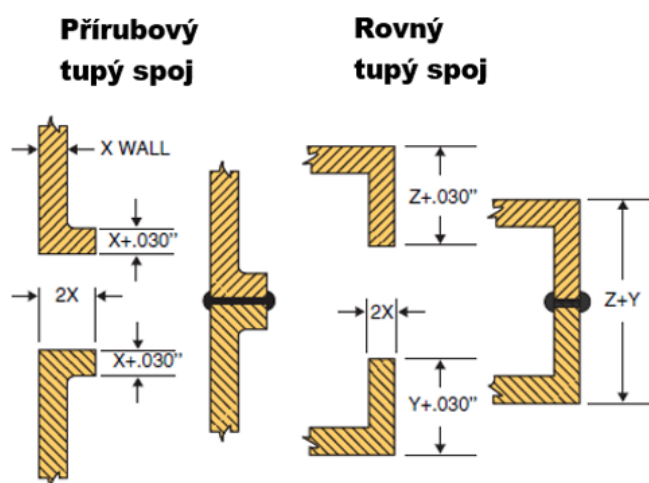
Když jsou svárové plochy dostatečně vychladlé, uchopovací mechanismus uvolní svařenec z držáků a uvolní součást, připevňovací přípravky se otevřou a hotová část se může vyjmout [26].

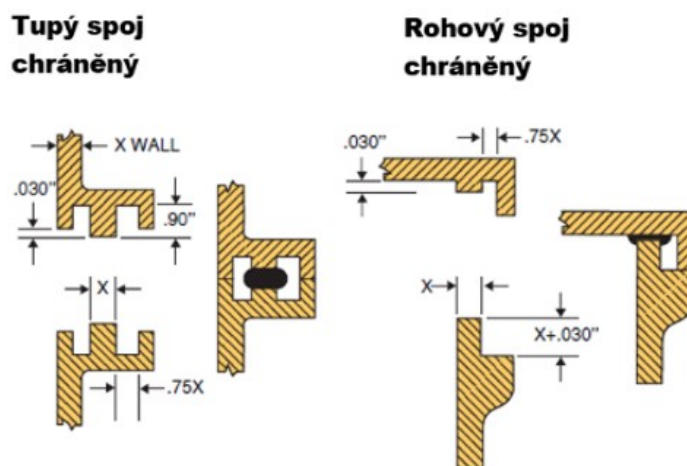


Obrázek 26 - Šestý krok svařování [26]

5.2.5. Tvar a linie svaru

Kvalita svařovacích spojů je závislá na nastavení správných svařovacích parametrů. Reprodukovatelná přesnost polohování spojovaných dílů musí být $\pm 0,05$ mm [26]. Svařováním se vytváří svarový spoj, který v mnoha případech dosahuje stejných pevnostních vlastností, jako má základní svařovaný materiál. V mnoha případech má svarový spoj lepší vlastnosti. Svarový spoj tedy může být vystaven stejnému namáhání jako každá jiná oblast součásti. Při stlačování součástí k sobě většinou vzniká výtlač materiálu, který je obvykle 0,030 mm což je pouze 0,015 mm na každou stranu od tavné fúze materiálu během svařování a utěsnění, jelikož během kroku tavení nedochází k posunu materiálu. Tato hodnota se může lišit v závislosti na použitém materiálu a geometrii dílů [27].





Obrázek 27 - Tvar a linie svaru [27]

5.2.6. Výhody a nevýhody infračerveného svařování

K výhodám svařování pomocí IR bezdotykovým zařízením patří svařitelnost malých, středních a velkých dílů. Tato metoda svařování je rychlá a ekonomická pro spojování plastů. Možnost svařovat tvarově náročné svařence i s větším sklonem než 10 stupňů ke vtahu k fixačnímu nástroji oproti technologii svařování vibrační metodou, kde tento stupeň sklonu je maximální. Technologie IR záření je schopné ohřát polymer a vytvořit zónu tavení velmi rychle. Části mohou být proto svařené nejméně o 30% rychleji než při svařování vyhřívaným nástrojem. Estetika a kvalita svárové plochy je vynikající, protože po nahřátí svařovaných částí dochází pouze k přitlačení a vytvoření svařence ne ke kontaktu a přímému doteku ohřívacího zrcadla na svařenec, to by mohlo mít za následek přilepení svařovacích dílů na přímý nástroj, tím by docházelo k opotřebení povlaku za horka. Technologie infračerveného záření dokáže svařit i „lowmodulus materiály“ tedy flexibilní materiály, jako jsou termoplastické elastomery. Mezi hlavní nevýhody patří, že některé krystalické polymery mají tendenci rozptylu záření, proto existují omezení na tloušťku svařovaného materiálu na 3 - 5 mm (0,12 - 0,20 palce). Při svařování dvou jiných polymerních materiálů vzniká problém absorpční, tedy každý materiál má jiné IR absorpční vlastnosti, a proto je velmi důležité nastavit správně IR ohřev na každý materiál. Oproti vibračnímu svařování je zde delší celkový cyklus. Kritické je také zvyšování tepla v přípravcích a životnost IR lampy [28, 29].

6. VIBRAČNÍ SVAŘOVÁNÍ S IR PŘEDEHŘEVEM TERMOPLASTŮ

6.1. Popis metody

Historicky proběhlo jedno z prvních vibračních svařování již v roce 1970. Tato technologie byla v začátcích používána bez IR přehřevu. Již dříve tato metoda sloužila ke svařování dílů pro automobilový průmysl, především automobilových nárazníků. S postupným vývojem se k vibračnímu svařování přidal IR přehřev. Přehřev měl za účel zbavit svárový spoj vad výronků, které kazí vzhled součásti a vyžadoval po svařování následné odstranění. Tuto technologii můžeme nazvat jako hybridní, protože zahrnuje standardní vibrační svařování v kombinaci s infračerveným ohřevem. Vibrační svařování z fyzikálního hlediska můžeme nazvat jako třecí svařování s IR přehřevem. U této technologie se používají stejné IR zářiče jako u technologie infračerveného svařování. Zakombinování IR zářičů do technologie nám ušetří čas (vyvolání rychlejšího tání polymerů). Vzniká tedy čisté spojení, které je ideální na svařování automobilových světlometů [8].

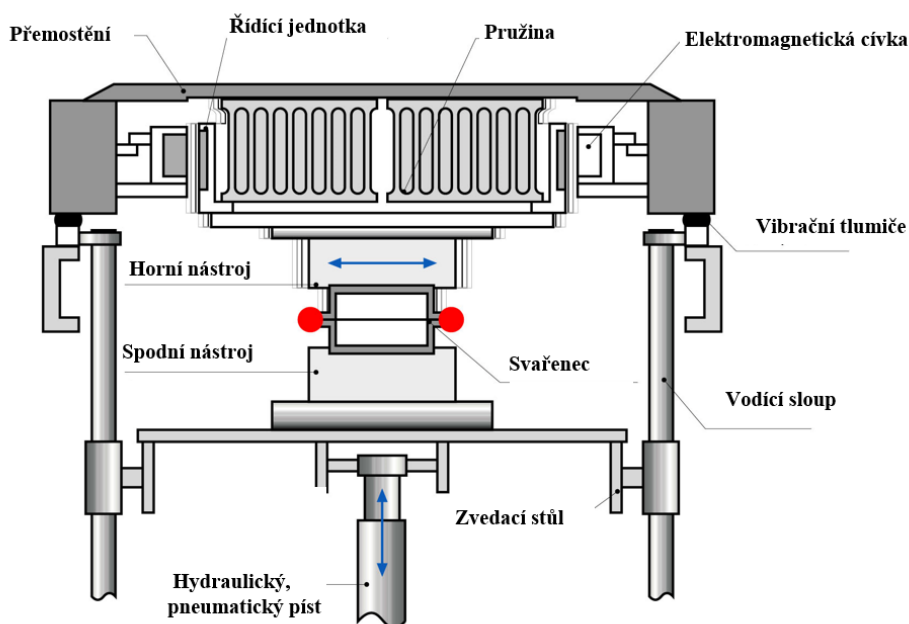


Obrázek 28 - Lineární vibrační svařovací přístroj M-624HRSi [30]

6.2. Základní popis stroje

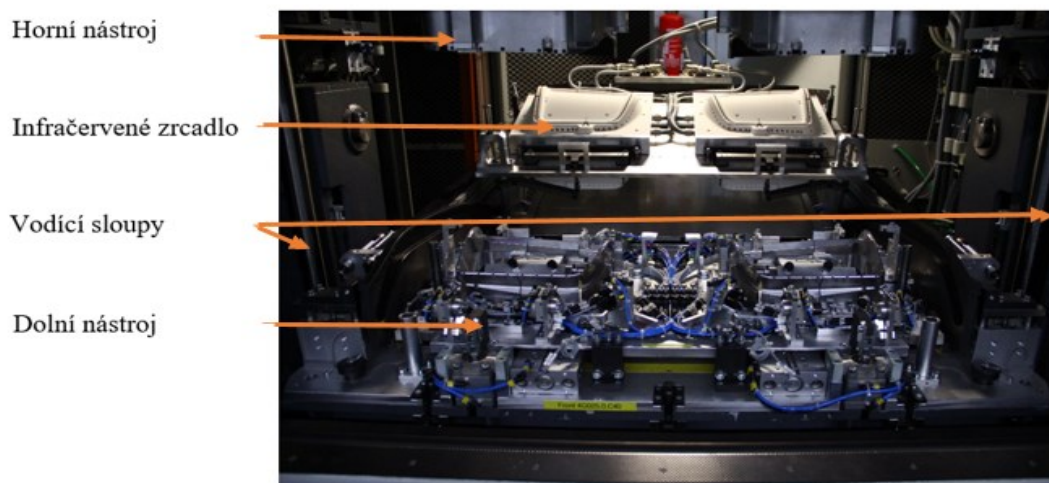
Konstrukce strojů jsou složeny ze svařených profilů různých typů. Stroje disponují tlumícími bloky k utlumení vibrací, které vznikají především při procesu ustálené fáze taveniny. Odhlučnění je zajištěno izolačními deskami. Pro otevření a možnost vkládání dílů je stroj vybaven posuvným automatickým dveřním otvorem. Pro servis stroje a jeho údržbu disponuje zadními dveřmi. Uvnitř stroje se nachází horní a spodní uchopovací nástroj (může být pneumatický, vakuový, hydraulický, elektrický). Do těchto nástrojů se vkládají svařované díly. Nástroje jsou také vybaveny fixačními úchyty pro správnou polohu dílů ve stroji. Dále se zde nachází infračervené zrcadlo k předebrátí svarového spojení vodící sloupky k zajištění přesné polohy dosednutí svarových linií [29].

Stroje dle vibračního pohybu dělíme na lineární a orbitální. V praxi se více využívá lineární pohyb, orbitální je vhodný spíše na nepravidelné součásti. U orbitálního svařování hlava koná orbitální neboli rotační pohyb. U lineárního pohybu dochází k vychylovacímu pohybu do stran v závislosti na nastavené frekvenci a amplitudě [33]. Svařovací mechanismus stroje se skládá z vibrační hlavy (pohon elektromagnetický, hydraulické písty), zvedacího stolu, sady nástrojů, infračerveného zrcadla a řídicí jednotky [4].



Obrázek 29 - Schéma lineárního svařovacího stroje [8]

Nejčastěji se využívá systém elektromagnetický u lineárního svařování, kde pomocí magnetických cívek, pružin a střídavého napětí dojde k požadovanému rozkmitu. K pohybu tedy dochází mezi elektromagnety a vibrační hlavou, kdy se střídavě pouští elektrická energie do elektromagnetických cívek, to způsobí přitahování vibrační hlavy a tedy požadovaný rozkmit [32].



Obrázek 30 - Popis základních částí stroje [8]

6.3. Procesní parametry

Nejdůležitější parametry procesu vibračního svařování s infračerveným předehřevem jsou teplota infračerveného předehřevu, frekvence, amplituda, tlak, čas a hloubka sváru. Při správném nastavení stroje a svařovacích parametrech můžeme dosáhnout vysoké pevnosti svarových spojení. Důležitou roli ve svařování hraje také geometrie a linie svaru, čistota prostředí a dílů, druhu použitého polymeru. Správné uchování svařovaných dílů hraje taky významnou roli, protože při skladování některých termoplastických dílů dochází k absorbování vlhkosti a to má při svařování za následek tvorbu bublin. Vhodným opatřením je vysušení dílů před svařováním, nebo po tváření ihned svařit [8].

IR předehřev

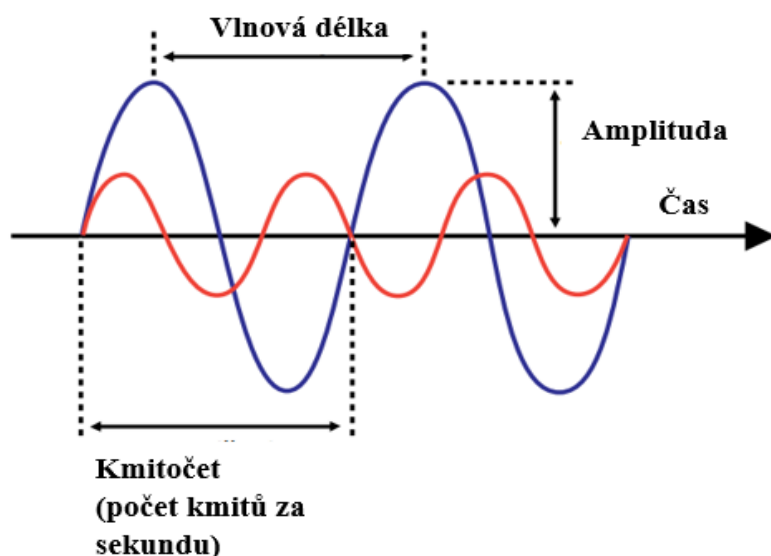
Provádí se IR zářiči. Teplota je závislá na použití termoplastického materiálu a na požadované tloušťce jeho prohřátí. Rychlost ohřátí svarových linií je závislá na vzdálenosti IR zářiče od svařovaných součástí a na absorbování infračerveného záření do materiálů [22].

Frekvence

U lineárního svařování stroj pracuje s frekvencí 100-240 Hz. Pevnost sváru je obecně velmi citlivá na frekvenci a amplitudu. U spojů rozdílných materiálů se většinou používají nižší frekvence [34].

Amplituda

Jednou z hlavních složek, které mohou ovlivnit svarový spoj je nastavení správné amplitudy a frekvence. Můžeme tedy říci, že amplituda je závislá na frekvenci, to znamená vysoká amplituda/ nízká frekvence a nízká amplituda/ vysoká frekvence. V provozu se často můžeme setkat s takto nastavenými stroji: svárová amplituda (0,7-1,8 mm) a frekvence (240Hz), nebo vyšší amplituda (2-4 mm) s nižší frekvencí (100 Hz) pro tvorbu účinných svarových spojení [34].



Obrázek 31 - Amplituda [3]

Tlak

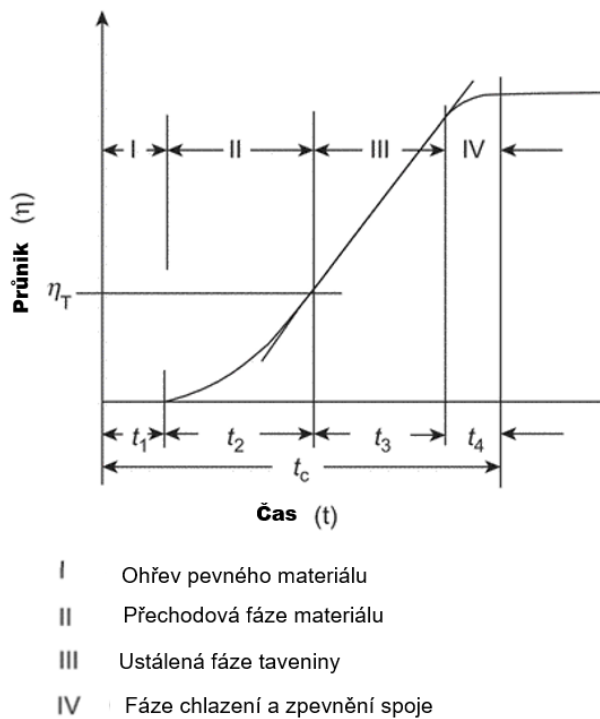
Nastavení tlaků zaleží na svarovém spoji a materiálu. Nastavují se v rozsahu od 0,5 do 20 MPa. Vyšší tlak sice snižuje dobu svařování, ale dochází ke snížení pevnosti sváru a ke vzniku vad [32].

Čas

Svařovací technika je buď řízena předem nastaveným časem, nebo je čas kontrolován podle hloubky svařenců do sebe zapuštěných. Čas je závislý na velikosti součástí a tvaru a linii svaru. U této techniky je čas proměnlivý. Obvykle je čas mezi 1 až 10 s [32].

6.4. Základní princip fází svařování

V důsledku IR přehřevu a následnému tření mezi oběma částmi docílíme rozpuštění polymerů. Pokud bychom používali jen vibrační svařování, mělo by to za následek tvorbu vad v podobě svarových výronků, které vyžadují často následné odstranění. Vzhledem k tlaku a vibracím dojde ke svařovacímu průniku a promíchání. Poté se generované vibrace zastaví a tavenina zatuhne, to má za následek svarový spoj. Vibrační svařování s IR přehřevem můžeme rozdělit do několika fází. Fáze IR ohřevu, rozpustná fáze, ustálená fáze a fáze chlazení [8].



Obrázek 32 - Svařovací fáze [36]

Ve fázi ohřevu pevného materiálu vzniká teplo v důsledku infračerveného ohřevu svarových ploch. To způsobuje, že se materiál polymeru ohřívá. Generované teplo je především závislé na tom, jak termoplastický materiál absorbuje záření. Materiál je stále v pevném stavu, nedochází k žádnému výtlaku ani proniknutí dílů do sebe [29].

V přechodové fázi dochází k roztavení polymeru v důsledku infračerveného ohřevu. V tavenině se tloušťka taveniny zvyšuje [29].

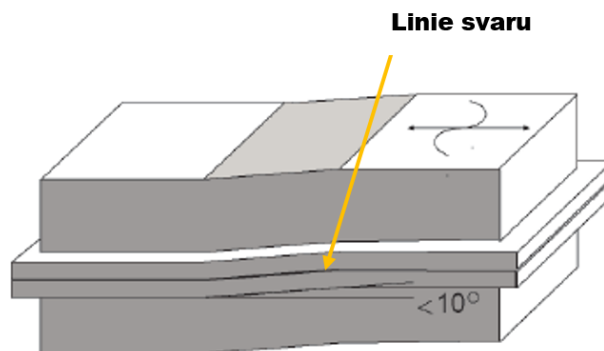
V ustáleném stavu fáze taveniny dochází k tomu, že rychlost tavení se rovná průtokové rychlosti [4]. K této fázi dochází pomocí vibrací stroje, IR ohřev je již vypnutý. Hned jak je této fáze dosaženo, tloušťka roztavené vrstvy se stává konstantní [29]. V ustáleném stavu je udržována určitou dobu, dokud nedojde k průvaru do určité hloubky, dále následuje zastavení vibrací [4].

Po zastavení vibrací následuje fáze chlazení. Svařované díly jsou stále pod tlakem. Rozpuštěný polymer chladne a svar se zpevňuje [9]. Po ztuhnutí svaru dojde k uvolnění tlaku. A odebrání hotového dílu ze stroje [29].

6.5. Tvar a linie sváru

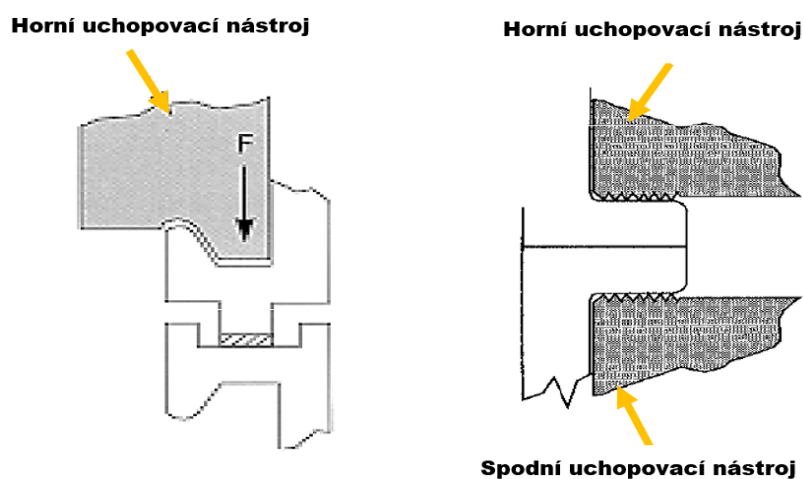
Tvar a linie svarů jsou velmi důležité pro výslednou kvalitu svaru, jak po stránce mechanické tak i estetické. Proto je důležité věnovat pozornost výběru tvaru svarové plochy pro požadovanou konstrukci. Často se používají tvary svaru, které mají dvakrát, až třikrát větší tloušťku než ostatní části konstrukce, aby nedocházelo k prohnutí svarových linií. Svarový spoj musí odolávat jak mechanickému zatížení, tak splňovat požadavky těsnosti proti vodě, plynu, nebo jiným médiím [32]. Při navrhování součástí konstruktéři musí hlavní pozornost věnovat linii svaru [8].

Mezi svařovacími plochami musí být umožněný pohyb 2,032 mm aby byla zajištěna správná amplituda [31]. Při použití vibračního svařování s infračerveným předhřevem platí, že ploché linie svarových ploch se nám lépe svařují než zakřivené linie svaru. Svar nám omezuje především vibrační fáze svařování, kdy dochází k vychylování horního a spodního nástroje na stranu. Omezení platí pro odkloněnou rovinu spoje, která může být odkloněna maximálně 10 stupňů ve vztahu ke směru vibračního svařování. Při použití technologie pouze s infračerveným zářením toto omezení neplatí, nedochází k vychylování součástí [32].



Obrázek 33 - Linie svaru [32]

Možnosti uchycení součástí u svarového spojení

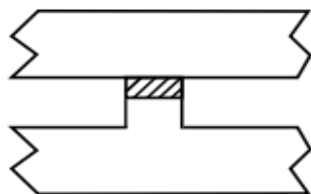


Obrázek 34 - Možnosti uchycení dílů do stroje [32]

Základní svarové spojení

Tupý spoj

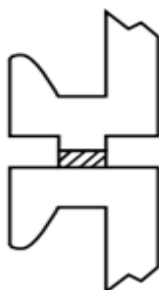
Tento spoj se používá pro menší díly a stěny, které jsou rovnoběžné s vibračním pohybem. Použití spojení je součástí tam, kde není důležitý vzhled svaru[32].



Obrázek 35 - Tupý spoj [32]

Tupý spoj s U-drážkou

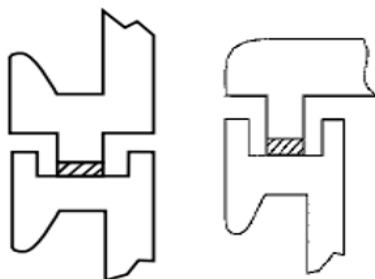
Toto spojení je možné využít i pro tenké stěny od 0,8 mm. A to díky zámku, za který může horní i spodní nástroj uchopit svařovaný díl a stlačit ho k sobě[32].



Obrázek 36 - Tupý spoj s U-drážkou[32]

Spoj pero s U-drážkou

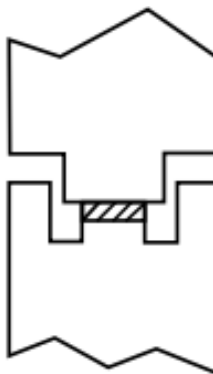
Jedná se o podobné spojení jak na předchozím obrázku. Výhodou je uschování svaru v drážce po svařování [32].



Obrázek 37 - Spoj péro s U-drážkou [32]

Spoj dvojité pero a U – drážkou

Spojení podobné jako spoj s perem s U-drážkou. Výhoda tohoto spojení je v čistém vzhledu svařovaných součástí[8].



Obrázek 38 - Spoj dvojité pero a U – drážkou [32]

6.6. Výhody a nevýhody vibračního svařování s IR předehřevem

K výhodám vibračního svařování s IR předehřevem patří především dobrá energetická účinnost a možnost svařovat velké díly. Při správném nastavení procesních parametrů a použití vhodného tvaru svarových linií můžeme dosáhnout velmi pevného spojení. Není potřeba zajistit komplikované ventilační systémy, které by odstranily výpary, nebo teplo. Dalšími výhodami jsou vysoká produktivita s nižšími náklady než mnoho dalších alternativních způsobů a snadné propojení s automatizovanou linkou. Můžeme současně svařovat několik menších součástí najednou [31].

Jedná se o velmi přesnou metodu svařování. Nevýhodou vibračního svařování s infračerveným předehřevem může být vysoká pořizovací cena, oproti svařování pouze technologií infračerveného záření stroj vykonává ještě vibrační pohyb, to má za důsledek náročnější údržbu nástrojů a dodržení přesnosti. Způsobuje větší hluk, a to kvůli vibracím, které činí 90-95 dB. Pozornost se musí věnovat dimenzování a uchycení dílů, aby při vibracích nedocházelo k deformaci dílů [8].

II. PRAKTICKÁ ČÁST

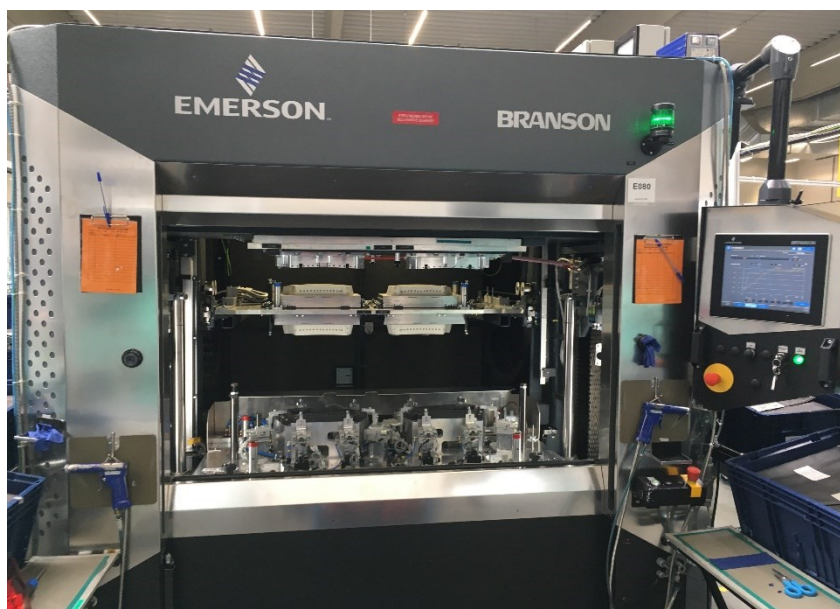
7. POPIS SVÍTILNY A SVAŘOVACÍHO STROJE

7.1. Popis testovaného vzorku

Zkoušky svaru se budou testovat na svítilně s označením Audi 370 P2 LOW vyrobené společností HELLA AUTOTECHNIK NOVA s.r.o. v Mohelnici. Vzorek bude testovaný na metodu svařování pouze s infračerveným zářením a metodou vibračního svařování s IR přehřevem. Obě tyto technologie svařování budou prováděny na stroji BRANSON GVX-3HR, který umožňuje svařování oběma technologiemi.

Svařované díly svítilny se skládají ze dvou rozdílných materiálů. Krycí část svítilny je vyrobena z PMMA. Jedná se o materiál se schopností propouštět světlo. Zadní část nazývaná pouzdro je vyrobené kombinací materiálů PC-ABS. Výroba pouzdra a krycí části se provádí vstřikováním. U krycí části svítilny se jedná o vícekomponentní vstřikování, kde dochází v každém cyklu ke vstříknutí pouze jednoho materiálu. Materiál je od výrobce dodáván ve formě granulí.

7.2. Popis vibračního svařovacího zařízení s přehřevem Branson GVX-3HR



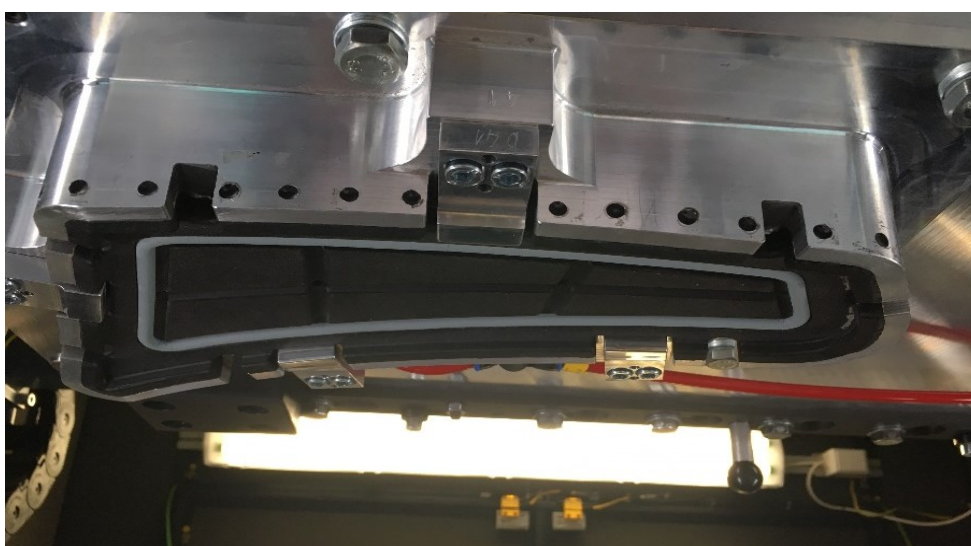
Obrázek 39 - Svařovací zařízení Branson GVX-3HR

Jedná se multifunkční svařovací zařízení s infračerveným ohřevem svarových ploch s kombinací s lineárními vibracemi. Svařovací zařízení je v souladu s evropskými normami EN 50081-1 a EN 50082-2 a jsou tedy vhodné pro průmyslové prostředí. Zařízení je navrženo pro střední velikosti součástí. Umožňuje tři varianty svařování, a to pouze vibracemi, infračerveným ohřevem nebo kombinací infračerveného svařování s vibracemi. Multifunkční svařovací zařízení je poháněno servomotorem a to zajišťuje přesnost a účinnost svařování.

Svářečka GVX-3HR nabízí snadný přístup k zadním dveřím při výměně nástrojů, s širokými předními dveřmi pro vložení a vyjmutí svařených dílů. Obsahuje průmyslové PC s 12" barevným dotykovým displejem. Díky snadné obsluze nabízí intuitivní navigaci, obsahuje zdokonalený editor sekvencí, který zjednodušuje programování výroby. Dalšími funkcemi jsou automatická identifikace nástrojů a rozpoznání specifikace svaru. Provozovatelé mohou snadno přistupovat k funkcím a bezpečnostním zařízením souvisejícím s výrobou, ale při programování nám umožňuje povolit kritické hodnoty. Lineární snímače s vysokým rozlišením zajišťují přesné polohování stolu a řízení hloubky svaru [38].

7.2.1. Horní nástroj a vibrační hlava

Rozkmit vibrační hlavy ve stroji je zajištěn pomocí elektromagnetů, vibrační hmoty a pružin. Vibrační hlava je nastavitelná a je namontována na rámu stroje s pryžovými prvky, které tlumí vibrace. Horní nástroj je připevněn k vibrační desce směřující dolů. Všechny součásti vibrační hlavy tvoří přesně naladěný rezonanční systém s variabilní amplitudou vibrací a nastavitelnou frekvencí.



Obrázek 40 - Horní nástroj

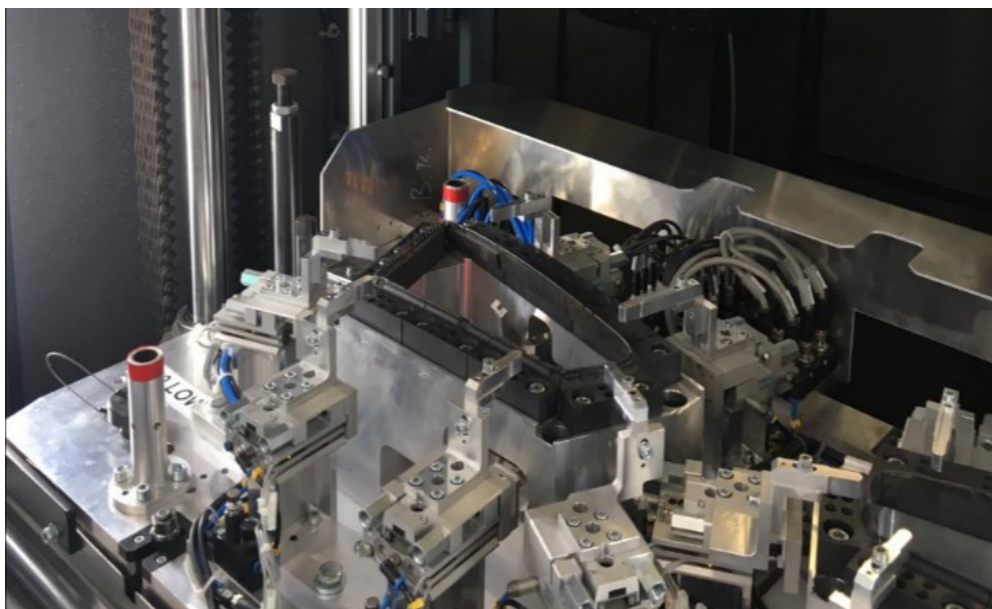
Elektromagnety vibrační hlavy jsou poháněny frekvenčním modulátorem (z elektrické skříně). Aktuální hodnoty vibrační amplitudy jsou detekovány snímačem a odchylky od nastavené požadované hodnoty jsou automaticky regulovány [42]. Uchycení svařovaného dílu je zajištěno pomocí vakuového úchopu s gumovým těsněním.

Uvnitř je nástroj vybaven měkčeným materiálem, aby nedocházelo k poškrábání či jinému poškození krycí části svítilny svařovaného dílu. Pro rychlé a přesné usazení slouží fixační body v nástroji.

7.2.2. Dolní nástroj

Dolní nástroj, také nazývaný jako zdvihací stůl, při provádění svařovacího programu automaticky zvedne uchopené pouzdro svítilny v nástroji ze spodní polohy k vibrační hlavě pomocí servomotoru, přesnou polohu zajišťují zvedací sloupy.

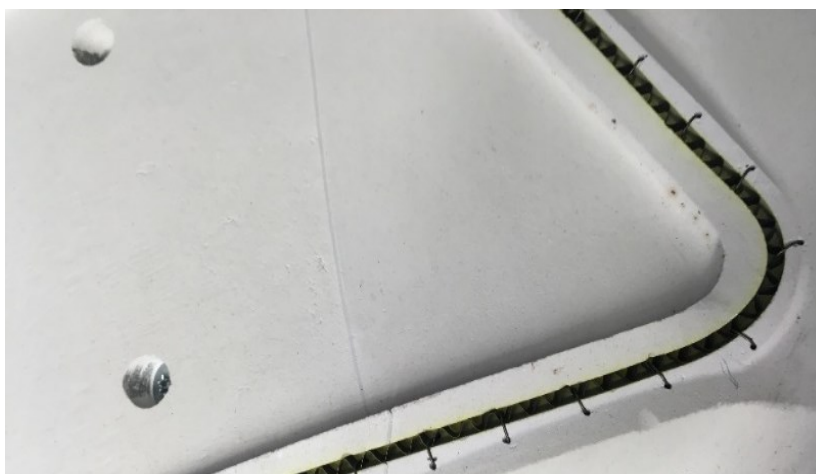
Rychlost zvedání stolu lze rozdělit na zrychlený pohyb, tedy pohyb, ve kterém se dolní nástroj dostane do blízkosti pod vibrační hlavu. Dále se pohyb zpomalí a dochází ke kontaktu pouzdra a krytu svítilny s předem nastavenými hodnotami tlaku. K uchycení pouzdra svítilny slouží tvarové pouzdro. Pro zajištění je nástroj vybaven fixačními úchyty, které jsou ovládány pneumaticky.



Obrázek 41 - Dolní nástroj

7.2.3. Infračervené zrcadlo

Zrcadlo předehřívá linie svaru jak krycí části, tak i pouzdra svítilny. Nástroj je vyrobený z keramického materiálu, v němž je zapuštěna kovová folie se speciálním niklovým legováním, která kopíruje linii svaru svařované součásti (pouzdra i krycí části). Vzdálenost zářiče od předehříváných dílů se pohybuje od 3 do 4 mm. Teplota vlákna je 700°C ($I = 2,5 - 8,0 \mu\text{m}$). Zrcadlo po usazení svařovaných částí automaticky vjede mezi horní a spodní nástroj a dojde k ohřevu svarových ploch. Folie se speciálním niklováním je na každou nahřívanou součást rozdělena na dvě na sobě nezávislé části. Celkově tedy pokud svařujeme pár svítilen je těchto ohřívacích prvků 8, na každém lze nezávisle nastavit procentuálně ohřev svařovacích ploch. Zrcadlové sáně zajišťují dvouosý pohyb, tedy nahoru/dolů a dopředu/ dozadu. Pohyby jsou poháněny elektromotorem přes ozubený řemen [42].



Obrázek 42 - Infračervené zrcadlo

7.2.4. Parametry nastavení infračerveného zrcadla

Tabulka 6 - Parametry nastavení infračerveného zrcadla

	1	2	3	4	5	6	7	8
Max. napětí [V]	37	35	37	35	38	36	38	36
Max. proud [A]	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5

7.2.5. Technické údaje stroje

Tabulka 7 - Technické údaje stroje GVX3-HR [42]

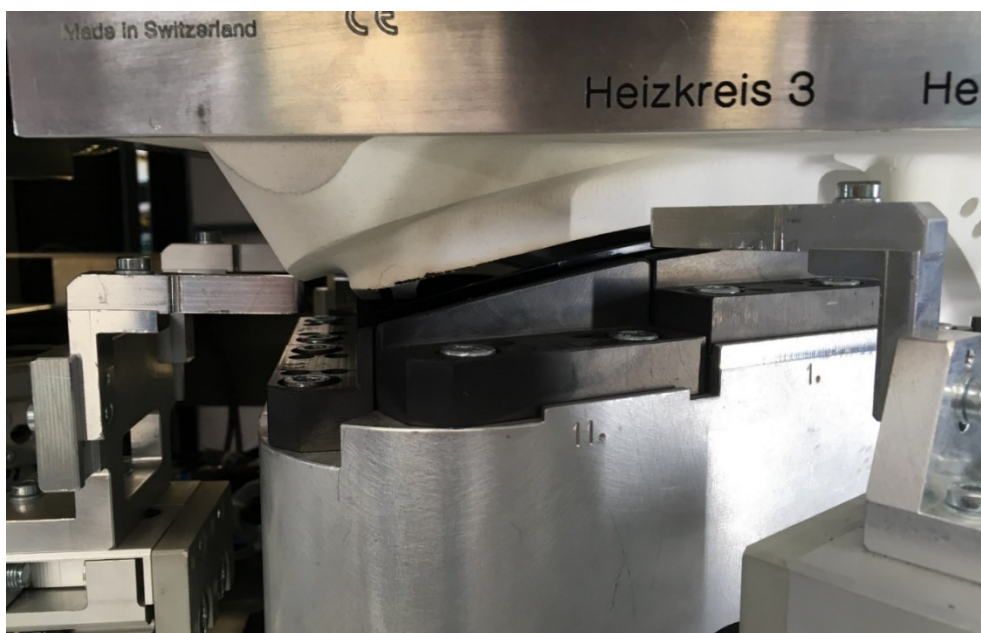
Technické specifikace	Jed- notky	GVX3-HR
2.1 Rozměry stroje		
Rozměry zvukové izolace (V x Š x H) Rozměry skříňového rozvaděče (VxŠxH) Celkové rozměry (V x š x H)	mm	<ul style="list-style-type: none"> • Zvuková izolace: 2338 x 2216 x 1123 • Skříňový rozvaděč: 2230 x 505 x 1305 • Celkem: 2338 x 2741 x 1305
2.2 Vibrační hlava		
Model svařovací hlavy		M-624H
Frekvence (nominální, závisí na hmotnosti nástroje)	Hz	210-250 Hz
Amplituda Vzdálenost mezi maximálními hodnotami	mm	0,7-1.8
Hmotnost nástroje	kg	35-65
Kapacita svařovací oblasti	cm ²	500
2.3 Povrchy nástrojů a rozměry krytu		
Rozměry montážního povrchu horního nástroje (montážní povrch svařovací hlavy: š x H x vzdálenost od podlahy)	mm	920 x 540 x 1710
Montážní povrch dolního nástroje (povrch zvedacího stolu: ŠxHx vzdálenost od podlahy)	mm	1360 x 600 x 860
Jistič zvedacího stolu vystředěný na horní straně stolu (Š x H)	mm	800 x 300
Vzdálenost mezi hřídelemi stolu (zleva doprava)	mm	1450
Maximální vzdálenost mezi povrchy dolního a horního nástroje (zvedací stůl v krajní dolní poloze: „výška otevření“)	mm	850
Minimální vzdálenost mezi povrchy dolního a horního nástroje (zvedací stůl v krajní horní poloze: „výška zavření“)	mm	250
Zdvih zvedacího stolu	mm	600

2.4 Pohyb zvedacího stolu / upínací síla		
Způsob přepravy zvedacího stolu		Servo motor; převodovka; mechanismus hnacího řetězu
Rychlost zvedacího stolu	mm/sec	0-500
Rozsah upínací síly	kN	1-25
2.5 Zvuková izolace		
Emise hluku (EN ISO 11202)	dBA	Maximální časový průměr 76.9 dB(A)
Přední dveře (V x š x vzdálenost od podlahy)	mm	820 x 1400 x 940
Zadní dveře pro údržbu (rozměry vnitřního otvoru V x š)	mm	1850 x 1410 (odpovídá standardu dvojítych dveří; dveře se otevírají k podlaze)
2.6 Ovládací prvky stroje		
Logika stroje/interní komunikace		Řídká systém Branson Logic Control System Architektura sběrnice CanOpen pro vnitřní funkce stroje (ovladače. V/V)
Prostředí uživatelského rozhraní		Průmyslový počítač 12palcová barevná kapacitní dotyková obrazovka Rozlišení obrazovky 1024 x 768 Rozhraní Branson Interface Systém
2.7 Prvky pneumatického systému pro standardní výbavě		
Značky standardních součástí		Zákaznické preference mimo seznam standardního vybavení: <ul style="list-style-type: none"> • Asco Numatics (výchozí standard) • SMC • Festo
Vstupní tlak vzduchu	bar	6-10(80-140 psi)
2.8 Přípojky		
Elektřina		Zákaznické preference mimo seznam standardního vybavení: <ul style="list-style-type: none"> • 3 x 400 V stř.. 50 Hz. PE. bez N • 3 x 440 V stř.. 60 Hz. PE. bez N • 3 x 220 V stř.. 50/60 Hz. PE. bez N

8. PŘÍPRAVA A KONTROLA SVAŘOVANÝCH SVÍTILEN

8.1. Kontrola předeřevu linie svaru

Pro nastavení stejné vzdálenosti v linii svaru jak horního, tak i spodního nástroje od infračerveného zrcadla dochází ke kalibraci nástrojů, a to pomocí šroubů a z důvodu rovnoměrného ohřevu svarových ploch. Nerovnoměrný ohřev by měl za následek vznik vad.



Obrázek 43 - Zrcadlo a dolní nástroj

8.2. Testování vzorků

Při kontrole svařovaných spojů je nutno zvážit požadavky na svařovanou součást a možnosti různých zkušebních metod. Zkoušky můžeme rozdělit na nedestruktivní a destruktivní. Do nedestruktivních metod testování patří kontrola rozměrů, vizuální kontrola, test těsnosti, ultrazvukový test a radiografické vyšetření. Destruktivní metody můžeme rozdělit na zkoušky tahem, nárazem, zkouška creep, ohybová zkouška. Ve společnosti HELLA AUTOTECHNIK NOVA s.r.o. jsou vzorkové svítliny kontrolovány vizuální zkouškou, poté je provedena zkouška těsnosti a destruktivní zkouška tlakem vzduchu.

8.3. Vizuální zkouška

Svary součástí jsou vizuálně kontrolovány přibližně ve vzdálenosti 250 mm s dostatečným osvětlením ve zbudovaném stanovišti. Při použití lupy s pětinasobným zvětšením se kontrolují svary a ovlivněné oblasti. Kontroluje se nerovnoměrná tvorba vrubů, povrch musí být bez bublin, prasklin, lesklé okraje vedle svaru mají za následek vysoké teploty svařování. Avšak metoda vizuální neposkytuje informace o pevnosti svaru, ale jedná se o estetickou část vozidla a jsou zde kladeny nároky na vzhled svaru bez vrubů volných částic.

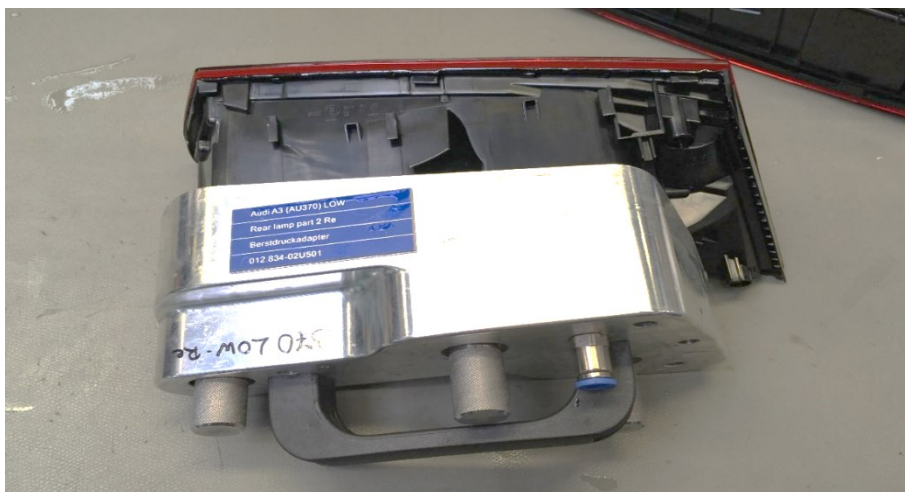


Obrázek 44 - Vizuální kontrola svařených svítilen

8.4. Zkouška tlakem

Před destruktivní zkouškou tlakem je vždy provedena zkouška těsnosti svarového spojení. Zkoušky se provádí v zařízení vyrobeném přímo společností HELLA AUTOTECHNIK NOVA s.r.o. a přizpůsobeném na zkoušky svítilen.

Ve svítilně dojde k utěsnění otvoru pomocí přípravku vyrobeného pro daný typ svítilny. Uchycení je pomocí šroubů. Přípravek také obsahuje otvor pro přívod vzduchu.



Obrázek 45 - Utěsněná svítilna

Poté je součást ponořena do vody a naplněna tlakem vzduchu o maximální hodnotě 30mbar (jedná se o nedestruktivní tlak), kdy dojde k uzavření přívodu vzduchu díky regulačnímu ventilu nastaveného na 30 mbar. U testovaného vzorku se detekují vzduchové bubliny unikající z netěsností. Pokud nedojde k úniku vzduchu, je svítilna připravená na destruktivní zkoušku. Utěšňovací přípravek pro destruktivní zkoušku je stejný, nedochází tedy k jeho odmontování.



Obrázek 46 - Svítilna po odstřelu

Vzhledem k riziku výbuchu u této zkoušky je třeba provádět zkoušku se vzduchovou náplní pouze se spojením s bezpečnostními zařízeními, jako jsou tlakové ventily a bezpečnostní nádoba. Zkouška se provádí v nerezové bezpečnostní nádobě. Svítilna je vložena do nádoby a pomocí přívodní hadice je do ní pouštěn tlak vzduchu.

Přesné měření tlaku a jeho přívod je zajišťován přístrojem, který zaznamenává lineárně vzrůstající tlak po následnou destrukci. Limitní hodnota je zaznamenána a zobrazena na displeji. Jelikož svárová oblast je považována za kritické místo celé svítilny, dojde v ní k destrukci a úniku tlaku ze svítilny. Dojde tedy k oddělení svařovaných částí od sebe. Zkouška se provádí při tlacích do 600 mbar.



Obrázek 47 - Testovací zařízení

8.5. Nastavení parametrů pro svařování

Jelikož tuto metodu svařování HELLA AUTOTECHNIK NOVA s.r.o. nepoužívá na svařování svítilen, základním úkolem bylo najít vhodné svařovací parametry. Po několika svařených vzorcích byly zvoleny jako ideální svařovací parametry uvedené v tabulce. Nastavené hodnoty při svařování strojem GVX-3HR.

Tabulka 8 - Nastavené svařovací parametry

Použitá technologie	Pouze IR	IR a vibrace
Amplituda [mm]	0	0,8
Frekvence [Hz]	0	221,8
Čas vibračního svařování [s]	0	1,7
Hloubka svaření [mm]	0,8	0,8
Čas předehřevu [s]	21,5	3
Tlak [daN]	1400	600
Čas přidržení [s]	10	2

Naměřené hodnoty na vzorcích po zkoušce „tlakem“ pouze s IR předehřevem

Tabulka 9 - Zkouška tlakem IR

Použitá technologie	Číslo vzorku	Tlak vzduchu [mbar]
IR předehřev	1	441,7
	2	427,8
	3	414,3
	4	421,0
	5	413,3
	6	420,5

Naměřené hodnoty na vzorcích po zkoušce „ tlakem “ Vibrační metodou s IR předehřevem

Tabulka 10 - Zkouška tlakem IR a vibrace

Použitá technologie	Číslo vzorku	Tlak vzduchu [mbar]
Vibrace a IR předehřev	1	504,9
	2	538,2
	3	540,5
	4	499,0
	5	528,1
	6	498,1

9. VÝPOČET HRANIČNÍHO TLAKU A SÍLY PŮSOBÍCÍ NA SVAR

9.1. Výpočet hraničního tlaku

9.1.1. Vysvětlení zkratk pro výpočet

P_{lim} - limitní tlak pro zkoušku (nejnižší tlak, který je nutno dosáhnout)

F_{sv} - síla působící na svar (vypočtená z tlaku při zkoušce a obsahu krycího skla, kde byl výpočet proveden v programu CATIA)

S_{sv} - plocha svaru

S_{ks} - obsah plochy opsané svařovacím žebrem na krycím skle, plocha, na kterou působí tlak vzduchu, který plníme do svítilny 0,0289701 m² (výpočet proveden v programu CATIA)

l_{sv} - délka svařovacího žebra 693,3 mm (výpočet proveden v programu CATIA)

t_{sv} - tloušťka svaru 1,6 mm

$\sigma_{n_{\min}}$ - minimální smykové napětí (je to konstanta, je dána požadavky pro danou technologii svařování, odkazuje se na normu HN 20120-1 Hella)

9.1.2. Výpočet

Požadavek :

$$\begin{aligned}\sigma_{n_{\min}} &\geq 1MPa \\ \sigma_{n_{\min}} &\geq \frac{100N}{100mm^2} = \frac{100N}{cm^2}\end{aligned}\quad (9.1.2.1)$$

Výpočet:

$$\begin{aligned}\sigma_{n_{\min}} &\geq 1MPa \\ \sigma_{n_{\min}} &\geq \frac{100N}{100mm^2} = \frac{1N}{mm^2}\end{aligned}\quad (9.1.2.2)$$

$$\begin{aligned}p_{\lim} &\geq Re \\ p_{\lim} &\geq \frac{F_{sv}}{S_{ks}}\end{aligned}\quad (9.1.2.3)$$

$$F_{sv} = \sigma_{n_{\min}} \cdot S_{ks} \quad (9.1.2.4)$$

$$F_{sv} [N] = \sigma_{n_{\min}} \cdot S_{sv} [cm^2]$$

$$S_{sv} = l_{sv} \cdot t_{sv} \quad (9.1.2.5)$$

$$p_{\lim} \geq \frac{\sigma_{n_{\min}} [Pa] \cdot l_{sv} [m] \cdot t_{sv} [m]}{S_{ks} [m^2]} = \frac{1000000 \cdot 0,693 \cdot 0,0016}{0,02897} \quad (9.1.2.6)$$

$$p_{\lim} \geq 38274 [Pa] = 382,74 [mbar]$$

9.2. Výpočet síly působící na svar

9.2.1. Vysvětlení zkratk pro výpočet

S_{sv} - plocha svaru

S_{ks} - obsah plochy opsané svařovacím žebrem na krycím skle – plocha, na kterou působí tlak vzduchu, který plníme do svítilny (výpočet proveden v programu CATIA)

P_n - tlak naměřený zkouškou

l_{sv} - délka svařovacího žebra (výpočet proveden v programu CATIA)

t_{sv} - tloušťka svaru 1,6 mm

Re - mez pevnosti

9.2.2. Výpočet pro první vzorek bez IR přehřevu

$$\begin{aligned} Re &\geq 1MPa \\ Re &\geq \frac{1N}{100mm^2} \end{aligned} \quad (9.2.2.1)$$

$$S_{sv} = l_{sv} \cdot t_{sv} \quad (9.2.2.2)$$

$$Re = \frac{P_n \cdot S_{ks}}{S_{sv}} \quad (9.2.2.3)$$

$$100pa = 1mBar$$

$$Re = \frac{P_n [mBar] \cdot S_{ks} [m^2]}{l_{sv} [mm] \cdot t_{sv} [mm]} \cdot 100$$

$$Re = \frac{441,7 \cdot 0,02897}{693,3 \cdot 1,6} \cdot 100$$

$$Re = 1,15MPa$$

III. Vyhodnocení naměřených hodnot a zhodnocení metod

10. VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT

Pro ověření správnosti pevnosti spojení byly provedeny zkoušky tlakem na vzorcích se stejně zadanými parametry, a to technologií svařování pouze s IR předehřevem a s IR předehřevem a vibracemi dle předem zadaných svařovacích parametrů. Z výpočtu je zřejmé, že při použití IR předehřevu a vibrací je svárový spoj prokazatelně pevnější, avšak obě tyto technologie by prošly normou HN 20120-1 Hella, přičemž mez pevnosti u vzorků pouze IR předehřevem je velice blízko minimální hodnotě meze pevnosti.

Výsledné vypočítané hodnoty pouze s IR předehřevem

Tabulka 11 - Mez pevnosti při svařování s IR

Použitá technologie	Číslo vzorku	Mez pevnosti [MPa]
IR předehřev	1	1,150
	2	1,114
	3	1,079
	4	1,096
	5	1,076
	6	1,095

Výsledné vypočítané hodnoty s IR předehřevem a vibracemi

Tabulka 12 - Vady při svařování s IR a vibracemi

Použitá technologie	Číslo vzorku	Mez pevnosti [MPa]
Vibrace a IR	1	1,315
	2	1,402
	3	1,300
	4	1,300
	5	1,375
	6	1,297

11. DISKUZE O DOSAŽENÝCH VÝSLEDKÁCH

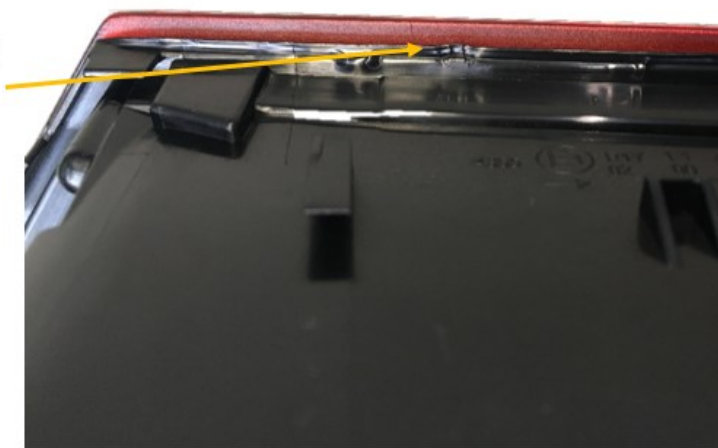
Při svařování svítlen pouze za použití IR ohřevu došlo k odtržení dílů při nižším přetlaku, z čehož vyplývá, že celková pevnost svarového spoje je nižší. Toto může být způsobeno horším promísením materiálů (polymerních řetězců) vzhledem k absenci vibrací. Dalším neopomenutelným faktorem je rozdílná teplota tavení T_g . Vzhledem k nižší teplotě tavení u PMMA docházelo k větší deformaci svařovacího žebra, které je umístěné na krycím skle. Možné řešení spočívá ve změně designu svařovaných dílů – přesunutí svařovacího žebra na pouzdro, vyrobené z PC-ABS.

Dalším parametrem posuzovaným ve strojírenské výrobě je čas svařovacího cyklu. Při zkouškách provedených na dílech použitých pro výrobu sériových svítlen bylo zjištěno, že čas cyklu potřebného pro svaření těchto komponent je o 24,8 s delší. Důvodem je nutnost delšího ohřevu dílů vzhledem k horšímu focusování energie přímo do místa svaru. Při použití metody infračervené s vibracemi vzniká teplo třením přímo v místě styku

svařovaných dílů a energie z IR zářičů se používá pouze pro předehřev dílů a zmenšení dopadu lokálních deformací a vlivu směru vibrací na výsledný svarový spoj.

Při svařování metodou pouze IR předehřevem docházelo k větší deformaci pouzdra svítilny způsobenou větší použitou přitlačnou silou než u svařování pomocí vibrací, kde snadněji dochází ke společnému promíchání materiálu akrylonitril-butadién-styrénu, ze kterého je vyrobeno pouzdro svítilny a polymethyl-metakrylátu, který se používá pro výrobu světelného krytu.

Deformace pouzdra svítilny při
použití větší přitlačné síly



Obrázek 48 - Deformace pouzdra

Výskyt výronu způsobený
vyšším ohřevem svařového
spojení



Obrázek 49 - Výskyt výronu

12. ZÁVĚR

Tato práce se zabývá porovnáním metod svařování svítilen Audi 370 P2 LOW a to metodou pouze infračerveného ohřevu a metodou infračerveného ohřevu v kombinaci s vibracemi.

Teoretická část popisuje základní struktury polymerů, jejich rozdělení, hlavní využití termoplastů v automobilovém průmyslu. Podrobněji jsou zde popsány materiály používané na výrobu svítilen, a to akrylonitril-butadién-styrénu, ze kterého je vyrobeno pouzdro svítilny a polymethyl-metakrylátu, který se používá pro výrobu světelného krytu. Dále je teoretická část zaměřena na samotné technologie svařování, a to svařování s infračerveným přehřevem a svařování vibrační s infračerveným přehřevem a jejich vzájemné porovnání.

Praktická část je zaměřena na popis svařovacího stroje BRANSON GVX 3H. Popsány jsou zde hlavní části svařovacího stroje, hlavní technické údaje a nastavení zrcadla CVT. Experiment spočíval v porovnání svařovacích metod, a to vibrační s infračerveným přehřevem a svařování pouze infračerveným zářením. Svítilny byly svařeny a vzájemně porovnány metody svařování. Zkouška byla provedena na 12 vzorcích svítilen.

Svítilny byly nejprve podrobeny vizuální kontrole. Zde byla kontrolována vizuální stránka svítilny, deformace pouzdra, vzniklé bubliny, póry. Byla také provedena zkouška svařitelnosti metodou infračervenou a změřen maximální úhel na přípravku vyrobeného pro infračervené svařování s vibracemi. Poté se provedla zkouška těsností, která spočívala v ponoření utěsněných vzorků do vody a natlakování vzduchem na hodnotu tlaku 30mBar. Vizuálně se kontrolovala těsnost svítilny. Pokud nedocházelo k úniku bublin, svítilna s těsnícím přípravkem byla připravena na destruktivní zkoušku tlakem. Zkoušky „tlakem“ slouží pro kvantifikování vlivu vibrací na pevnost svarového spojení. Z výsledků zkoušky vyplývá, že obě použité metody splňují minimální požadavky na pevnost danou normou HN 20120-1 Hella. Avšak při použití metody infračerveného přehřevu s vibracemi je mez pevnosti vyšší, u metody pouze infračerveným ohřevem se mez pevnosti pohybuje blízko minimální hodnotě použitelnosti dle normy HN 20120-1 Hella.

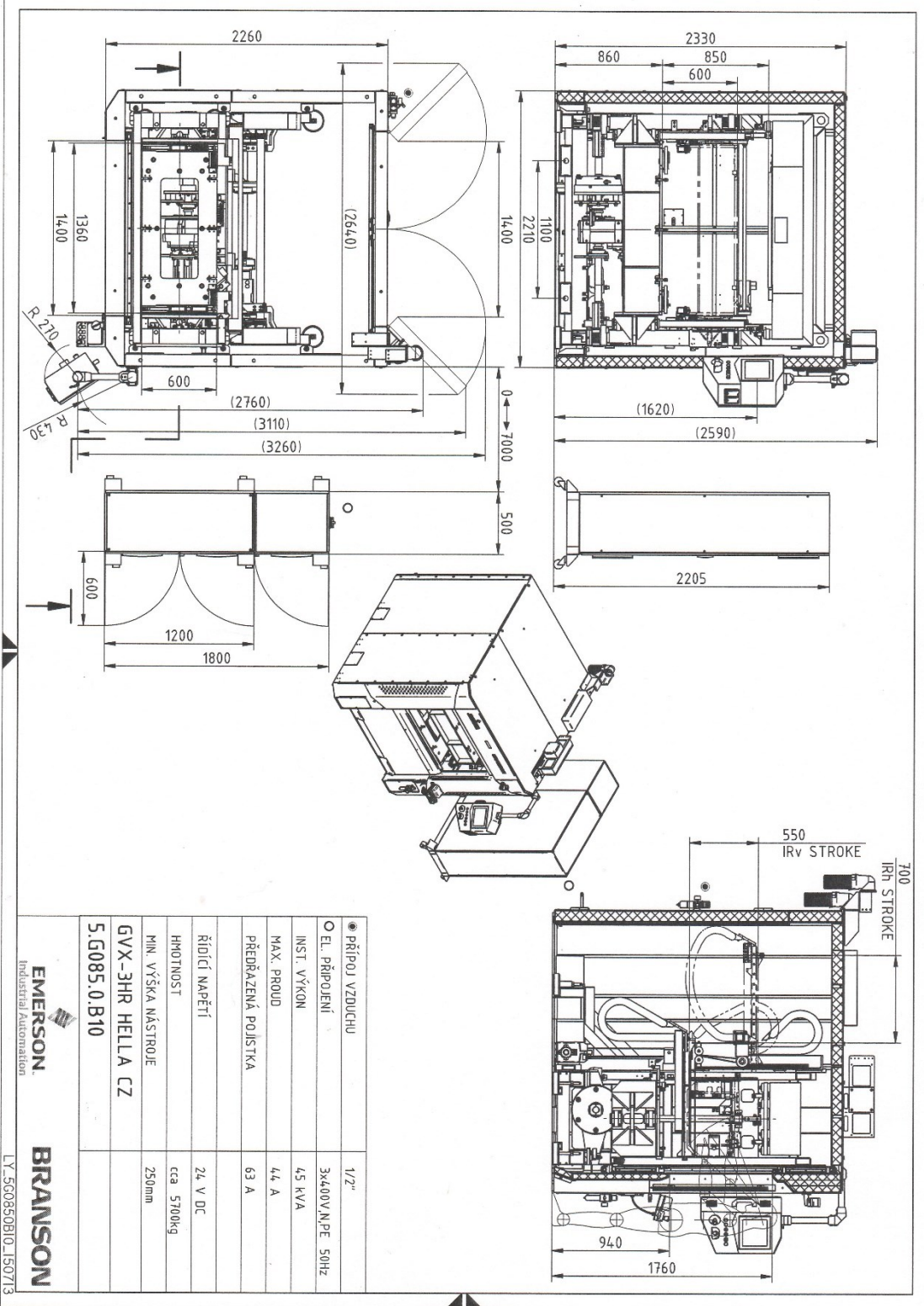
Výsledkem této práce je prokázání jednoznačného pozitivního vlivu vibrací na svarový spoj. Nedochází k tak vysokému vnesení tepla, deformaci svařovaných součástí, dokonalejší promíchání materiálu. Výsledky diplomové práce budou použity při výrobě svítilen firmou HELLA AUTOTECHNIK NOVA s.r.o..

Poděkování:

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu mé diplomové práce, panu Ing. Vladislavu Ochodkovi, za jeho odborné vedení a cenné rady. Rád bych zde také poděkoval také panu Ing. Martinovi Kepprtovi za odborné konzultace ve firmě HELLA AUTOTECHNIK NOVA s.r.o..

PŘÍLOHY

Příloha 1 - Rozměrový plán stroje Branson GVX-3HR [42]



Seznam použité literatury

- [1] BĚHÁLEK, Luboš. *Polymery* [online]. 17. publi.cz: © Code Creator, 2015 [cit. 2018-02-07]. ISBN 978-80-88058-68-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/Impresum.html>
- [2] KICKOVÁ, Mária a Attila HERDITZKY. HISTORIA A VÝVOJ VÝROBY PLASTOV. *Transfer inovací* [online]. 2008, (11/2008), 3 [cit. 2018-02-07]. Dostupné z: <https://www.sjf.tuke.sk/transferinovacii/pages/archiv/transfer/11-2008/pdf/144-146.pdf>
- [3] MOHYLA, Miroslav. *Nekonvenční strojírenské materiály I*. 2. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2003dotisk. ISBN 80-7078-969-7.
- [4] *Vibration Welding Guide: Vibration Welding of Engineering Plastics*. 2011.
- [5] KOUKAL, Jaroslav a Martin SONDEL. *Nekonvenční metody svařování: studijní materiály*. Ostrava: Český svářečský ústav, 2013. ISBN 978-80-248-2887-9
- [6] LOYDA, Miloslav. *Svařování termoplastů*. 2., dopl. a rozš. vyd. Praha: UNO Praha, 2011. ISBN 978-80-904949-0-9.
- [7] 13 High Performance Plastics Used in the Automotive Industry - Craftech Industries. *home - Craftech Industries* [online]. Copyright © [cit. 07.02.2018]. Dostupné z: <http://www.craftechind.com/13-high-performance-plastics-used-in-the-automotive-industry/>
- [8] JEDELSKÝ, Jakub. *Přínos IR předehřevu při vibračním svařování plastů* [online]. Ostrava, 2016 [cit. 2018-02-07]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/10084/114769>. Bakalářská práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava.
- [9] SOVA, Miloš. *Termoplasty v praxi: praktická příručka pro konstruktéry, výrobce, zpracovatele a uživatele termoplastů*. Praha: Dashöfer, 2001. ISBN 80-86229-15-7.
- [10] Optical PMMA Resins | Chi Mei Corporation: Bringing you Real Happiness . *Object moved* [online]. Copyright © Copyright 2012 Chi Mei Corporation. All Rights Reserved. [cit. 08.02.2018]. Dostupné z: <http://www.chimeicorp.com/en-us/products/electronic-materials/optical-pmma-resins/>
- [11] KRACHE, Rachida a Ismahane DEBAH. *Some Mechanical and Thermal Properties of PC/ABS Blends* [online]. [cit. 2018-02-08]. DOI: 10.4236/msa.2011.25052. ISBN 10.4236/msa.2011.25052. Dostupné z: <http://www.scirp.org/journal/doi.aspx?DOI=10.4236/msa.2011.25052>
- [12] Duromer - PC/ABS. *Duromer - Home* [online]. Copyright © 2010 Duromer Products Pty Ltd [cit. 08.02.2018]. Dostupné z: <http://www.duromer.com/products/duralloy/>

- [13] 404 - Praktik System. *Praktik system* [online]. [cit. 08.02.2018]. Dostupné z: <http://www.praktiksystem.cz/plasty/#pc-abs-15>
- [14] Bluestar profile - Mold Maker, Tool Builder and Plastic Part Manufact.... *Share and Discover Knowledge on LinkedIn SlideShare* [online]. Copyright © 2018 [cit. 07.02.2018]. Dostupné z: <https://www.slideshare.net/buihuy89/bluestar-profile-mold-maker-tool-builder-and-plastic-part-manufacturer>
- [15] (1999). ANTEC 1999 Plastics: Bridging the Millennia, Volume 3: Special Areas - Trends in Automotive Plastics (1194). Society of Plastics Engineers. [cit. 07.02.2018]. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt0017FZJ1/antec-1999-plastics-bridging/trends-in-automotive>
- [16] Engineering (2nd Edition) - 0.3 Automotive Applications of Plastics. Oxford University Press. [cit. 07.02.2018]. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt00U57O21/principles-polymer-engineering/automotive-applications>
- [17] *DVS 2202-1: Fehler an Schweißverbindungen aus thermoplastischen Kunststoffen Merkmale, Beschreibung, Bewertung*. 1. DEUTSCHE: Ausschuss für Technik, Arbeitsgruppe „Fügen von Kunststoffen“, 2006.
- [18] What is infrared radiation (IR)? - Definition from WhatIs.com. *Networking information, news and tips - SearchNetworking* [online]. [cit. 2018-02-08]. Dostupné z: <http://searchnetworking.techtarget.com/definition/infrared-radiation>
- [19] Infračervené záření - FYZIKA 007. FYZIKA 007 [online]. [cit. 2018-02-08]. Dostupné z: <http://www.fyzika007.cz/optika/infracervene-zareni>
- [20] Infrared rays - properties and applications. Redsun - отопление от ново поколение [online]. Copyright © Redsun EOOD [cit. 08.03.2018]. Dostupné z: <http://www.redsun.bg/en/infraredheating/infrared-heat-waves/>
- [21] Joining: Infrared Welding - FRIMO. [online]. Copyright © FRIMO. All rights reserved. [cit. 08.03.2018]. Dostupné z: <http://www.frimo.com/en/products/joining/infrared-welding.html>
- [22] Hot-Plate Welding vs. Infrared Welding for Plastics Assembly | 2015-10-01 | Assembly Magazine. Assembly Magazine | Manufacturing automation and design [online]. Copyright ©2018. All Rights Reserved BNP Media. [cit. 08.03.2018]. Dostupné z: <https://www.assemblymag.com/articles/93066-hot-plate-welding-vs-infrared-welding-for-plastics-assembly>

- [23] Joining: Innovative Tooling Concepts - FRIMO. [online]. Copyright © FRIMO. All rights reserved. [cit. 08.03.2018]. Dostupné z: <http://www.frimo.com/en/products/joining/infrared-welding/innovative-tooling-concepts.html>

- [24] DVS 2207-6. *Schweißen von thermoplastischen Kunststoffen Berührungsloses Heizelementstumpfschweißen von Rohren, Rohrleitungsteilen und Tafeln: Verfahren – Maschinen – Paramete*. 6. GERMAN: DVS – DEUTSCHER VERBAND FÜR SCHWEISSEN UND VERWANDTE VERFAHREN E.V., 2003.

- [25] (2010). ANTEC 2010 Plastics: Annual Technical Conference Proceedings - Comparison of Vibration, Infrared and Combined Infrared with Vibration Welding of PMMA to ABS. Society of Plastics Engineers. [cit. 07.02.2018]. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt007YBE11/antec-2010-plastics-annual/comparison-vibration>

- [26] About Infrared Welding. Forward Technology | Plastic Welders, Testing & Automation Systems [online]. [cit. 07.02.2018]. Dostupné z: <http://www.forwardtech.com/plastic-assembly/infrared-welders/about-infrared-welding>

- [27] Designing for Infrared Welding. Forward Technology | Plastic Welders, Testing & Automation Systems [online]. [cit. 07.02.2018]. Dostupné z: <http://www.forwardtech.com/plastic-assembly/infrared-welders/designing-for-infrared-welding>

- [28] Infrared Weld Tooling. Forward Technology | Plastic Welders, Testing & Automation Systems [online]. [cit. 07.02.2018]. Dostupné z: <http://www.forwardtech.com/plastic-assembly/infrared-welders/infrared-weld-tooling>

- [29] TROUGHTON, Michael John. *Handbook of plastics joining: a practical guide* [online]. 2nd ed. Cambridge, UK: TWI/The Welding Institute, c2008, xxii, 590 p. ISBN 978-081-5515-814.

- [30] Clean Vibration Technology - CVT (Vibration Welding). *Branson Europe* [online]. Německo: Branson Ultraschall, 2007 [cit. 07.02.2018]. Dostupné z: <https://www.branson.eu/products/clean-vibration-technology-cvt-vibration-welding>

- [31] Document Moved [online]. Copyright ©lg [cit. 11.03.2018]. Dostupné z: http://www.emersonindustrial.com/enUS/documentcenter/BransonUltrasonics/Plastic%20Joining/Non-Ultrasonics/VW_Tech_Info.pdf

- [32] *Vibration for Plastics Joining: Theory and Application*. Dietzenbach, 2012.

- [33] DVS 2217-2. *Vibrationsschweißen von Formteilen und Halbzeugen aus thermoplastischen Kunststoffen in der Serienfertigung Formteile aus Polyamiden*. 2. GERMAN: DEUTSCHER VERBAND FÜR SCHWEISSEN UND VERWANDTE VERFAHREN E.V., 2002.
- [34] *Clean Vibration Technology: For Parts Demanding Particulate-free and Aesthetically Clean Plastic Weld Joints*. Německo, 2012.
- [35] TROUGHTON, Michael John. *Handbook of plastics joining: a practical guide* [online]. 2nd ed. Cambridge, UK: TWI/The Welding Institute, 2008, xxii, 590 p. [cit. 2018-01-26]. ISBN 978-081-5515-814.
- [36] Ebnesajjad, Sina Khaladkar, Pradip R.. (2018). Fluoropolymer Applications in the Chemical Processing Industries - The Definitive User's Guide and Handbook (2nd Edition) - 7.4.9 Vibration Welding. Elsevier. [cit. 07.03.2018]. Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt011FUUW8/fluoropolymer-applications/vibration-welding>
- [37] Branson Introduces GVX-3 | News and Events | News. Document Moved [online]. Copyright © 2016 Emerson Electric Co. All rights reserved. [cit. 24.04.2018]. Dostupné z: <http://www.emersonindustrial.com/en-US/branson/news-and-events/news/Pages/Branson-Introduces-GVX-3.aspx>
- [38] Lastnosti Polykarbonát+ABS-blend (PC+ABS) - Datový list od LPM s.r.o. "LPM s.r.o. - Technické díly z plastů" [online]. Jičín, Česka republika: LPM, 2008 [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <http://www.lpm.cz/cgi-bin/riweta.cgi?nr=2271&lng=2>
- [39] Polymethylmethakrylát (PMMA). "LPM s.r.o. - Technické díly z plastů" [online]. Jičín, Česka republika: LPM, 2008 [cit. 24.04.2018]. Dostupné z: <http://www.lpm.cz/cgi-bin/riweta.cgi?nr=2610&lng=1#5>
- [40] Plasty | Praktik system. Praktik system [online]. Copyright © [cit. 24.04.2018]. Dostupné z: <http://www.praktiksystem.cz/plasty/>
- [41] PRADEEP, Sai Aditya, Rakesh K. IYER, Hakan KAZAN a Srikanth PILLA. 30 *Automotive Applications of Plastics: Past, Present, and Future*. United States, 2016. Department of Automotive Engineering Clemson University
- [42] *Vibrační svářečka GVX-3HR: Návod k provozu*. 1. Ditzbach 63128, 2015.
- [43] Světlomety | HELLA. [online]. Copyright © HELLA GmbH [cit. 24.04.2018]. Dostupné z: <https://www.hella.com/hella-cz/cs/Svetlomety-1041.html>

Seznam obrázků

Obrázek 1- Spotřeba plastů v Evropě[1]	12
Obrázek 2 - Schéma makromolekulárního řetězce polyethylenu [1].....	13
Obrázek 3 - Schéma struktury polymerů a) amorfní; b) semikrystalické [1]	14
Obrázek 4 - Rozdělení polymerů [1].....	15
Obrázek 5 - Přehled základních kaučuků [1]	16
Obrázek 6 - Přehled základních termoplastických elastomerů [1]	16
Obrázek 7 - Polymerní řetězec [4].....	17
Obrázek 8 - Periodická tabulka termoplastů [1].....	18
Obrázek 9 - Polymer po svaření [4].....	18
Obrázek 10 - Svařitelnost termoplastů [4]	20
Obrázek 11 - Granulát PMMA [10]	23
Obrázek 12 - Struktura PC/ ABS [8].....	25
Obrázek 13 - Granulát PC/ABS [8].....	26
Obrázek 14 - Procentuální rozdělení polymerů v automobilovém průmyslu [16]	27
Obrázek 15 - Příklad využívání plastů v automobilovém průmyslu [12]	29
Obrázek 16 - Světlo automobilu	31
Obrázek 17 - Přehled záření [18]	34
Obrázek 18 - – Infračervené svařovací zařízení [21]	36
Obrázek 19 - Infračervené svařování popis základních částí stroje [23]	38
Obrázek 20 - Popis fází při svařování [25].....	40
Obrázek 21 - První krok svařování [26]	40
Obrázek 22 - Druhý krok svařování [26].....	41

Obrázek 23 - Třetí krok svařování [26]	41
Obrázek 24 - Čtvrtý krok svařování [26]	42
Obrázek 25 - Pátý krok svařování [26]	42
Obrázek 26 - Šestý krok svařování [26]	43
Obrázek 27 - Tvar a linie svaru [27]	44
Obrázek 28 - Lineární vibrační svařovací přístroj M-624HRSi [30]	45
Obrázek 29 - Schéma lineárního svařovacího stroje [8]	46
Obrázek 30 - Popis základních částí stroje [8]	47
Obrázek 31 - Amplituda [3]	48
Obrázek 32 - Svařovací fáze [36].....	49
Obrázek 33 - Linie svaru [32]	51
Obrázek 34 - Možnosti uchycení dílů do stroje [32].....	51
Obrázek 35 - Tupý spoj [32]	52
Obrázek 36 - Tupý spoj s U-drážkou[32]	52
Obrázek 37 - Spoj péro s U-drážkou [32]	52
Obrázek 38 - Spoj dvojité pero a U – drážkou [32]	53
Obrázek 39 - Svařovací zařízení Branson GVX-3HR	54
Obrázek 40 - Horní nástroj	55
Obrázek 41 - Dolní nástroj	56
Obrázek 42 - Infračervené zrcadlo	57
Obrázek 43 - Zrcadlo a dolní nástroj	60
Obrázek 44 - Vizuální kontrola svařených svítilen	61
Obrázek 45 - Utěsněná svítilna	62

Obrázek 46 - Svítilna po odstřelu	62
Obrázek 47 - Testovací zařízení	63
Obrázek 48 - Deformace pouzdra	70
Obrázek 49 - Výskyt výronu	70

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Rozklíčování zkratk z obrázků [8]	19
Tabulka 2 - Vlastnosti PMMA [39]	24
Tabulka 3 - Vlastnosti [38].....	26
Tabulka 4 - Rozdělení druhu polymerů pro díly v automobilovém průmyslu [15]	28
Tabulka 5 - Vady při svařování s IR ohřevem [17].....	32
Tabulka 6 - Parametry nastavení infračerveného zrcadla.....	57
Tabulka 7 - Technické údaje stroje GVX3-HR [42]	58
Tabulka 8 - Nastavené svařovací parametry	64
Tabulka 9 - Zkouška tlakem IR.....	64
Tabulka 10 - Zkouška tlakem IR a vibrace	65
Tabulka 11 - Mez pevnosti při svařování s IR.....	68
Tabulka 12 - Vady při svařování s IR a vibracemi	69

Seznam příloh

Příloha 1- Rozměrový plán stroje Branson GVX-3HR [42]	73
---	----